

Ambiente
amministrativa
OPN

Cambiamento climatico

La geoingegneria

di **Stefano Nespò (*)**

ABSTRACT ABSTRACT ABSTRACT ABSTRACT.

È giunto il tempo di mettere alla prova una cattiva idea

Nel gennaio del 2009 una spedizione composta da scienziati del tedesco *Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research* e del *National Institute of Oceanography* indiano tenta di produrre una massiccia crescita di fitoplancton in una vasta area dell'Oceano circostante l'Antartide gettando alcune tonnellate di polvere di ferro nell'acqua marina. È il progetto Lohafex: poiché le alghe assorbono anidride carbonica, l'obiettivo dell'esperimento (condotto sulla base di ipotesi formulate già nei primi anni Novanta del secolo scorso) era di verificare se, operando su vasta scala, si sarebbe ottenuta una riduzione significativa dell'anidride carbonica nell'atmosfera attenuando così il cambiamento climatico¹.

L'esperimento, condotto a termine nonostante l'opposizione del Ministro dell'ambiente tedesco, ha suscitato molte proteste: le organizzazioni ambientaliste hanno denunciato i rischi di danni non previsti e non prevedibili sull'ecosistema oceanico, altri hanno denunciato l'ammmissibilità di interven-

ti sull'assetto dell'atmosfera non autorizzati dalla comunità internazionale, altri ancora hanno ritenuto che lo sversamento di polvere di ferro abbia costituito una violazione di normative internazionali² e del Trattato per la protezione dell'Antartide.

Il progetto Lohafex è stato il più importante esperimento sinora attuato per contenere il cambiamento climatico e il segnale dell'affermarsi - o, come vedremo, del riaffermarsi - della geoingegneria nel quadro delle politiche e delle azioni volte a ridurre l'impatto sul clima delle emissioni prodotte dalle attività umane.

La geoingegneria, o ingegneria climatica, consiste nella ricerca e nella messa a punto di tecnologie volte a realizzare *modifiche intenzionali dell'ambiente globale* in modo da attenuare gli effetti del cambiamento climatico³. *Intenzionalità* e *globalità* sono due caratteristiche importanti: la prima pone in evidenza la differenza di queste nuove tecniche dalle attività umane che hanno prodotto mutamenti climatici non voluti, la seconda segna la loro differenza da progetti e interventi localizzati o comunque territorialmente limitati (questi ultimi, come si vedrà, tutt'altro che nuovi e posti in essere sin dal secolo XIX).

(*) Ringrazio Tullio Scovazzi e Gianfranco Cocco che hanno letto questo articolo e mi hanno offerto utili suggerimenti

¹ Sul progetto Lohafex si veda *Randall S. Abate - Andrew B. Greenlee, Sowing Seeds Uncertain: Ocean Iron Fertilization, Climate Change, and the International Environmental Law Framework* in *Pace Environmental Law Review* 2010, 555. Molte altre iniziative analoghe sono state annunciate da Istituzioni di ricerca o da società private. Tra queste, ha acquisito notorietà il progetto della società Planktos di effettuare sei esperimenti di fertilizzazione oceanica, abbandonato all'inizio del 2008 per mancanza di fondi e per l'opposizione delle organizzazioni ambientaliste: si veda in proposito <http://news.mongabay.com/2008/0219-planktos.html>. Sull'argomento, vedi p.12.

² L'esperimento ha certamente violato la Convenzione per la prevenzione dell'inquinamento marino prodotto dall'immersione di rifiuti e altri materiali (c.d. Convenzione di Londra) del 1972 e il successivo Protocollo del 1996 annesso alla Convenzione.

³ La Convenzione sulla proibizione dell'uso militare o di qualsiasi altro uso ostile delle tecniche di modificazione dell'ambiente - c.d. Convenzione Enmod - (sulla quale vedi infra, p.7 e nota 31) definisce le modificazioni dell'ambiente come «le tecniche per modificare, per mezzo di manipolazioni intenzionali dei processi naturali, le dinamiche, la composizione e la struttura della terra, compreso il biota, la litosfera, l'idrosfera, l'atmosfera e lo spazio».

Questa disciplina, tenuta sinora ai margini del dibattito scientifico sul cambiamento climatico e trattata come una materia debordante nella fantascienza e frutto di sogni perversi di scienziati irresponsabili, è oggi al centro di un processo di rivalutazione che coinvolge istituzioni scientifiche, organismi pubblici, governi, e poi scienziati, economisti e anche giuristi che si occupano dei profili ambientali, organizzativi, istituzionali, sociali e internazionali del cambiamento climatico⁴.

Negli ultimi anni si sono così succeduti incontri, conferenze e workshop sull'argomento. Tra i più importanti si possono ricordare: il simposio *Macro-engineering Options for Climate Change Management and Mitigation* organizzato nel gennaio del 2004 a Cambridge, in Inghilterra, dal britannico *Tyndall Centre for Climate Change Research* e dal MIT⁵; l'incontro sul tema *Managing Solar Radiation* promosso nel 2006 dalla Nasa insieme all'Istituto Carnegie; il workshop *Geoengineering: Workshop on Unilateral Planetary Scale Geoengineering* allestito nel maggio del 2008 dal *Council on Foreign Relations* (istituto che pubblica anche il periodico *Foreign Affairs*); e poi ancora la conferenza organizzata nel mese seguente a Washington sul tema *Geoengineering: A Revolutionary Approach to Climate Change* dal *American Enterprise Institute for Public Policy Research* (sino a qualche anno fa appartenente alla schiera di coloro che ponevano in dubbio l'esistenza di un cambiamento climatico); nel giugno del 2009 ci so-

no stati due giornate di discussione sul tema presso la *National Academy of Science* degli Stati Uniti; nel settembre del 2009 la britannica Royal Society ha pubblicato il rapporto *Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*, elaborato da dodici scienziati del clima⁶. Infine, nel marzo del 2010 si è tenuta ad Asilomar, in California - località non casualmente prescelta: nello stesso luogo dove nel 1975 scienziati ed esperti di genetica decisero una moratoria sulle sperimentazioni di ingegneria genetica, in attesa di stabilire regole e standard da seguire a livello internazionale - una conferenza internazionale dove oltre 150 scienziati del clima di 14 nazioni (nessuno italiano) si sono riuniti per stabilire le regole da osservare per ridurre i rischi connessi allo sviluppo e alla sperimentazione delle nuove tecniche di geoegegneria, nel rispetto del principio di precauzione: pur non essendo stato raggiunto un accordo, sono stati indicati cinque principi divenuti noti come *«i principi di Oxford»* (sui quali torneremo)⁷.

Con il crescere dell'attenzione verso la geoegegneria è cresciuta anche l'opposizione al suo utilizzo (anche se resta per lo più ignota all'opinione pubblica che cosa essa sia⁸), soprattutto da parte delle organizzazioni ambientaliste, degli organismi internazionali coinvolti nei negoziati per il contenimento del cambiamento climatico e, in generale, da parte di coloro che, nelle varie discipline coinvolte, sinora si sono adoperati per raggiungere accordi rivolti a ridurre le emissioni di gas serra. I motivi di opposizione sono vari: dal punto di vista etico la inammissibilità di pratiche che si proponessero di alterare l'assetto geoclimatico del pianeta⁹; dal punto di vi-

⁴ Tra i contributi giuridici e di politica internazionale, senza alcuna pretesa di completezza, si vedano: Albert Lin, *Geoengineering Governance*, in *Issues in Legal Scholarship*, Vol. 8, No. 3, 2009 in www.bepress.com/ils/vol8/iss3/art2; William Daniel Davis, *What Does "green" Mean?: Anthropogenic Climate Change, Geoengineering, and International Environmental Law*, in *Georgia Law Review*, 2009, 901; David G. Victor, M. Granger Morgan, Jay Apt, John Steinbruner, Katharine Ricke, *The Geoengineering Option: A Last Resort Against Global Warming?* In *Foreign Affairs*, Marzo-Aprile, 2009, 64; Alexandra B. Klass, Elizabeth J. Wilson, *Climate Change and Carbon Sequestration: Assessing a Liability Regime for Long-Term Storage of Carbon Dioxide*, in *Emory Law Journal*, 103 e ss., 2008; Alan Carlin, *Why a Different Approach is Required if Global Climate Change Is to Be Controlled Efficiently or Even at All*, in *William & Mary Environmental Law & Policy Review*, 2008, 685 e Id., *Global Climate Change Control: Is There a Better Strategy than Reducing Greenhouse Gas Emissions?* in *University of Pennsylvania Law Review*, 2007, 1401; Jay Michaelson, *Geoengineering: A Climate Change Manhattan Project*, in *Stanford Environmental Law Review* 1998, 73; James Edward Peterson, *Can Algae Save Civilization? A Look at Technology, Law, and Policy Regarding Iron Fertilization of the Ocean to Counteract the Greenhouse Effect*, 6 *Colorado Journal of International Environmental Law and Policy*, 1995, 61.

⁵ Gli atti del simposio sono consultabili nel sito del Tyndall Centre: www.tyndall.ac.uk/events/past_events/cmi.shtml

⁶ Il testo del Rapporto è in <http://royalsociety.org/Geoengineering-the-climate/>

⁷ Si veda The Asilomar International Conference on Climate Intervention Technologies, in www.climate.org/PDF/AsilomarConferenceSummary.pdf.

⁸ Secondo un sondaggio condotto alla fine del 2009 dal *Yale Project on Climate Change*, alla domanda «Quanto ha sentito parlare della geoegegneria come possibile risposta al pericolo posto dal cambiamento climatico», il 74% degli intervistati ha risposto «nulla», il 26%, pur avendone sentito parlare, riteneva che riguardasse tutt'altro, e solo il 3% degli intervistati possedeva informazioni corrette sull'argomento: si veda in proposito Jeff Goodell, *A Hard Look at the Perils and Potential of Geoengineering* in *Yale Environment* 360, 1 aprile 2010.

⁹ Una campagna per fermare gli esperimenti di geoegegneria realizzati in modo unilaterale è stata avviata nel giugno del 2010 durante la *Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y los Derechos de la Madre Tierra* a Cochabamba, Bolivia. La campagna *«Non Manipolate la Madre Terra»* invita i governi a mettere fine agli esperimenti di geoegegneria realizzati unilateralmente e all'aria aperta. Tra le file dei sostenitori della campagna contro la geoegegneria ci sono ambientalisti di prestigio mondiale come Bill McKibben, David Suzuki,

sta scientifico la mancanza di certezze sia sui risultati che potrebbero essere raggiunti con l'uso di queste tecniche sia sull'esistenza di imprevedibili danni collaterali; dal punto di vista ambientale, i rischi di effetti sconosciuti e imprevedibili per l'ecosistema generale o per specifiche aree del pianeta.

Vi è poi il diffuso timore che la sola teorica possibilità di far uso della geoingegneria offra una comoda scorciatoia per evitare di affrontare il problema del cambiamento climatico alle radici, cioè riducendo le emissioni di gas serra: molti sono convinti che, come automobili più sicure incoraggiano modi di guida più spericolati, così la fiducia nello sviluppo di tecniche che impediranno le più gravi conseguenze del cambiamento climatico possa incoraggiare l'incremento incontrollato delle emissioni¹⁰.

Nonostante le preoccupazioni e i timori, tuttavia, tra gli esperti che si occupano del cambiamento climatico prevale l'opinione che è venuto il tempo - come si è detto alla Conferenza di Asilomar - di provare a vedere se una cattiva idea possa essere realizzata.

Le ragioni di un successo

È facile comprendere le ragioni della ritardata fortuna di questa scienza (o meglio, di questo insieme di discipline scientifiche e tecnologiche rivolte all'obiettivo del contenimento del mutamento climatico).

Si è rivelata sinora inefficace l'azione considerata fin dall'inizio prioritaria dalla comunità internazionale per contenere il cambiamento climatico consistente nell'adozione di opportune politiche di *mitigazione*: le emissioni di gas serra, invece che ridursi a seguito dell'attività della comunità internazionale e dell'impegno degli organismi appositamente istituiti (l'obiettivo della Convenzione quadro prima e poi del Protocollo di Kyoto era quello di ricondurle al livello del 1990) sono continuate a salire ad un tasso di circa il 3% all'anno, quindi con intensità che lascia prevedere che già fra pochi decenni si verificheranno, soprattutto nelle aree più esposte, i primi danni irreversibili prodotti dal cambiamento climatico.

Non ha avuto sinora miglior fortuna neppure il secondo tipo di azione presa in considerazione in via sussidiaria, centrato sull'*adattamento* al cambia-

mento climatico delle regioni maggiormente esposte alle sue conseguenze dannose e finalizzato quindi solo a contenere i danni senza incidere sulle cause.

Alla base dell'insuccesso di queste due azioni sta il fallimento dei tentativi di raggiungere un accordo globale e vincolante sul contenimento delle emissioni mancando l'adesione, per diversi motivi, di molti dei paesi maggiormente responsabili delle emissioni di gas serra: Stati Uniti da un lato (che proprio recentemente hanno rinunciato ad adottare, nonostante le promesse bipartisan di Obama e McCain durante la campagna elettorale, una legislazione per contenere le emissioni di gas serra), i paesi con economie emergenti dall'altro¹¹. Dall'altro canto, impegni unilateralmente assunti da alcuni paesi soltanto - come è avvenuto con il Protocollo di Kyoto - si sono rivelati inutili e addirittura controproducenti da punto di vista del contenimento del clima e, per di più, penalizzanti, se rispettati, sul piano della concorrenza internazionale.

Un accordo globale richiede infatti, per molti paesi, un impegno a compiere scelte e azioni contrastanti con gli obiettivi di crescita economica, affrontando costi attuali per conseguire benefici futuri.

È un tipico caso di *tragedia dei beni comuni* dove il bene comune è il clima che tutti *utilizzano* liberamente immettendo nell'atmosfera gas serra derivanti dall'attività economica e produttiva, senza curarsi dei costi e dei danni che ne derivano: chi più *usa* l'atmosfera per accrescere il proprio benessere non risente in modo proporzionale degli svantaggi, ma scarica sul bene comune dei costi che poi tutti sono costretti a subire¹².

Come in ogni caso riconducibile a questa fattispecie - dalla pesca nel mare libero, allo sfruttamento dei fondali oceanici, all'utilizzo della biodiversità - il problema giuridico fondamentale è quello delle modalità con cui restringere o regolare l'accesso al bene, scegliendo tra strumenti che pongono regole, divieti o sanzioni o invece strumenti di mercato (as-

¹¹ Secondo la International Energy Association (Iea) qualsiasi accordo sul contenimento del cambiamento climatico deve includere necessariamente i cinque maggiori responsabili delle emissioni di gas serra, cui sono imputabili i 2/3 delle emissioni globali: Stati Uniti, Cina, Unione Europea, India e Russia. Si veda Iea, *World Energy Outlook 2008 Executive Summary* 2008, in www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_english.pdf.

¹² È l'espressione, ormai famosissima, che funge da titolo di saggio apparso sulla rivista «Science» nel 1968. L'autore, un biologo americano, Garrett Hardin sostenne che un uso non regolato di beni comuni da parte di coloro che vi hanno accesso porta nel corso del tempo alla rovina.

Vandana Shiva e Naomi Klein.

¹⁰ Il paragone è in David W. Keith, *Engineering the Planet*, in Stephen H. Schneider - Armin Rosencranz - Michael D. Mastrandrea - Kristin Kuntz-Duriseti (a cura di), *Climate Change Science and Policy*, Island Press 2009

segnazione di posizioni proprietarie, norme di carattere economico e fiscale o ancora meccanismi di carattere cooperativo)¹³.

La tragedia del clima inoltre ha non solo una dimensione attuale, tra paesi che immettono gas serra nell'atmosfera in quantità assai diverse trovandosi in diversi stadi del loro sviluppo economico e avendo adottato diversi modelli di sviluppo (sicché ogni regolamentazione verrebbe ad incidere in modo diversificato e iniquo sulle diverse posizioni), ma anche una dimensione temporale, in quanto i vantaggi accumulati dalle generazioni presenti produrranno, in mancanza di adeguati interventi, danni, anch'essi diversificati, alle generazioni future.

Questo spiega perché un accordo globale sia difficile da raggiungere e, se raggiunto, sia poi ancor più difficile da rispettare. Tutti i governanti si rendono conto della necessità di agire, ma si rendono anche conto di non essere in grado di farlo se vogliono mantenere l'appoggio e il sostegno di coloro che li eleggono e li sostengono: ciò è vero, in particolare, per i paesi con economie emergenti, per i quali qualsiasi impegno di riduzione delle emissioni verrebbe ad incidere sulle aspettative di un miglioramento delle condizioni di vita della popolazione, per la prima volta in corso di realizzazione¹⁴.

Così gli obblighi di contenimento delle emissioni posti dal Protocollo di Kyoto, tra l'altro limitati, come detto, solo ad alcuni paesi ricchi, sono destinati a scadere nel 2012 senza che si sappia esattamente che cosa accadrà dopo quella data. Infatti il c.d. Accordo di Copenhagen del dicembre 2009, pur avendo realizzato per la prima volta una convergenza di intenti tra paesi ricchi e paesi in via di sviluppo (è stato sottoscritto da Stati Uniti, Francia, Cina, India, Sudafrica), non stabilisce né scadenze né impegni precisi¹⁵. **Né molti passi avanti si sono realiz-**

zati con i c.d. Cancun Agreements stipulati Corso della conferenza mondiale sul cambiamento climatico del dicembre del 2010.

Tutto ciò non vuol dire che non si può fare niente. Bisogna però passare dal *wishful thinking* alla *Realpolitik* e quindi rendersi conto che è inutile sforzarsi di ottenere un impossibile - quantomeno allo stato - accordo vincolante cui aderiscano tutti i paesi della comunità internazionale, e specificatamente i paesi maggiormente responsabili delle emissioni di gas serra, e che, d'altro lato, bisogna indirizzare gli sforzi verso tutto ciò che è possibile fare in tempi relativamente brevi per limitare i danni provocati dal cambiamento climatico con la partecipazione dei paesi disponibili¹⁶.

Sono queste le ragioni per le quali si stanno facendo strada metodi di azione che non richiedono accordi globali¹⁷; sono queste le ragioni anche dell'attenzione dedicata alla geoeingegneria, sospinta dallo scoramento di coloro che vedono sempre più difficile impedire i drammatici effetti del cambiamento climatico e dal sostegno di coloro che vedono irrealizzabili accordi che prevedono obblighi internazionali in questa materia.

In realtà, le prime ipotesi di un ricorso ad azioni di geoeingegneria risalgono già agli anni successivi all'entrata in vigore della Convenzione quadro sul cambiamento climatico e di poco precedenti o successivi la stipulazione del Protocollo di Kyoto (quindi tra il 1996 e il 1999)¹⁸: provengono da

ging *International Law in William & Mary Environmental Law & Policy Review*, 2010, 543.

¹⁶ Per considerazioni su questi punti si veda Robert W. Hahn, *Climate Policy: Separating Fact From Fantasy*, in *Harvard Environmental Law Review*, 2009, 557.

¹⁷ Si veda in proposito lo studio predisposto nell'ottobre del 2009 per la Banca Mondiale da Elinor Ostrom, *A Polycentric Approach for Coping with Climate Change*. Background Paper to the 2010 World Development Report: *Development in a Changing Climate*. L'autrice osserva che politiche unitarie adottate su scala globale difficilmente ottengono risultati soddisfacenti, mentre hanno più probabilità di successo politiche che adottano un metodo policentrico su vari livelli territoriali, a partire dal livello locale per giungere al livello dell'accordo internazionale bilaterale o multilaterale.

¹⁸ La prima prospettazione dell'uso di apposite tecnologie per contenere il cambiamento climatico in un documento ufficiale è assai più antica: risale a un'epoca in cui lo stesso fenomeno era scarsamente conosciuto e certo ne erano sconosciute le gravi e potenzialmente catastrofiche conseguenze). Un rapporto pubblicato nel 1965 negli Stati Uniti da un organismo costituito per offrire pareri in materia scientifica al governo suggerisce di attenuare il dannoso impatto sul clima dell'incremento di anidride carbonica nell'atmosfera mediante appositi interventi, da studiare con grande attenzione e prende in considerazione l'ipotesi di cospargere particelle riflettenti sulla superficie del mare: *president's science advisory committee, Restoring the Quality of Our Environment*, Washington, DC 1965. Il termine *geoengineering* è stato utilizzato per la prima volta nei primi an-

¹³ Si veda il capitolo dedicato a questo argomento in Stefano Nespore, *Il Governo dell'ambiente*, Garzanti 2009, 325 e segg.; si veda inoltre Jonathan B. Wiener, *Symposium: Local Property, Global Justice: Law And Resources In The Era Of Climate Change: Article: Property And Prices To Protect The Planet in Duke Journal of Comparative & International Law* 19, 2009, 515. Gli studi più noti sui meccanismi alternativi al mercato sono di Elinor Ostrom, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, Cambridge 1990 (tr. it., *Governare i beni collettivi*, Marsilio, Venezia 2006).

¹⁴ Thomas C. Schelling, *Some Economics of Global Warming in American Economical Review* 1992, p.11.

¹⁵ Sul punto si veda Stefano Nespore, *La Conferenza di Copenhagen: un accordo fallimentare o la base di un nuovo ordine internazionale per il contenimento del cambiamento climatico?*, in *Riv. trim. dir. pubb.*, 2010, 467-475; sulle prospettive che si aprono nel sistema del diritto internazionale ambientale a seguito dell'Accordo e sui primi passi compiuti per una sua attuazione si veda Elizabeth Burleson, *Climate Change Consensus: Emer-*

quanti, pur riconoscendo i pericoli derivanti da questo fenomeno, già dubitavano della capacità della comunità internazionale di realizzare un accordo globale per porre in essere interventi di mitigazione e di adattamento, per le enormi difficoltà che questo obiettivo deve superare¹⁹, in quanto: «imporre un regime vincolante per contenere il cambiamento climatico significa costringere molti stati ad agire contro i loro interessi attuali»²⁰.

Dal mito di Fetonte agli ingegneri del clima

In realtà, se la ricerca di tecnologie per contenere il cambiamento climatico è, tutto sommato, recente, i progetti di controllo del clima o del tempo sono ben più risalenti nel tempo. Anzi, come vedremo, l'attuale geoeingegneria climatica si riallaccia a progetti e tentativi che da due secoli si intrecciano tra entusiasmi e delusioni, tra scienza e ciarlataneria.

Fin dall'antichità si è cercato di controllare il tempo: si è danzato, si è pregato, sono stati creati appositi organismi e investite risorse pubbliche, si sono perfino fatti sacrifici umani per avere più pioggia o meno pioggia, per avere più caldo o più fresco. Nessuno però è riuscito ad ottenere i risultati voluti. Il mito di Fetonte e quello di Icaro hanno insegnato che nessuno può controllare le radiazioni solari.

Il tempo, cioè le condizioni in cui si trovano l'atmosfera in una determinata area geografica in un certo momento o comunque in un breve periodo, resta, oggi come migliaia di anni fa, difficilmente modificabile e difficilmente prevedibile anche a poche settimane di distanza.

Invece, nel corso della storia dell'uomo è stato spesso involontariamente modificato il clima, cioè l'insieme delle condizioni atmosferiche (temperatura, umidità, pressione, venti) che caratterizzano una regione geografica per lunghi periodi di tempo e ne determinano il tipo di vegetazione, la flora e la fauna, le attività economiche ed anche il carattere e le abitudini delle popolazioni che vi abitano²¹. Molte

ni Settanta da Marchetti che formulò l'ipotesi di accumulare l'eccesso di anidride carbonica nell'atmosfera e di affondarlo nell'oceano.

¹⁹ Si veda lo scritto di una dei maggiori esperti della politica del cambiamento climatico, Thomas Schelling, *The Economic Diplomacy of Geoengineering*, in *Climatic Change* 33, 303, 1996.

²⁰ Jay Michaelson, cit.

²¹ Osservava Cuoco, autore del *Saggio storico sulla rivoluzione napoletana*, che «è una stranezza il credere che il clima non influisca sul fisico e sul morale degli uomini»; e ribadiva Tommaseo che «i principali caratteri o costumi nazionali, anche quando paiono non aver niente a che fare col clima, o ne derivano o quando anche non ne derivino e vengano da cagioni affatto diverse, pur corrispondono mirabilmente alle qualità di esso clima».

di queste modifiche, seppur prive del carattere di globalità tipico dell'attuale cambiamento climatico e territorialmente circoscritte, hanno influito sull'evoluzione dell'umanità e di altri esseri viventi determinando adattamenti e migrazioni, catastrofi e successi²².

Il miglioramento *intenzionale* del clima si profila come specifico oggetto di ricerca scientifica e tecnologica nel XIX secolo (dei primi decenni del secolo è la scoperta dell'effetto serra da parte di Jean Baptiste Fourier).

La ricerca è particolarmente intensa negli Stati Uniti: coloro che vi partecipano - scienziati e imprenditori ma anche, spesso, sognatori e avventurieri - formano il gruppo dei «pluviculturalisti». Le tecniche proposte sono le più varie: dalle bombe alle cannonate, dagli incendi di boschi su vasta scala al rilascio di palloni riempiti di gas nell'atmosfera fino alla creazione di vulcani artificiali²³.

Il controllo del tempo resta però sempre al di là delle possibilità della scienza dell'epoca, restando confinato alla letteratura utopistica. Si immaginavano così società ove radicali modifiche dell'assetto delle

²² Molti esempi sono descritti in Jared Diamond, *Collasso*, Einaudi 2005. Il primo grande fenomeno di alterazione dell'ambiente naturale da parte dell'uomo è costituito dal passaggio dal nomadismo e dalla pastorizia all'agricoltura e all'allevamento di animali domestici, avvenuto in un periodo compreso tra il X e l'VIII millennio a.C., con tutta probabilità in più aree tra loro lontane, Cina, Medio Oriente e America Latina ed Europa. Per ciò che riguarda quest'ultima, all'origine del diffondersi dell'agricoltura sta - secondo recenti studi di paleoclimatologia - il surriscaldamento del clima che, proprio nel periodo in considerazione, si estende in Palestina e in Mesopotamia, nell'area cosiddetta della «mezzaluna fertile» (l'area compresa fra gli odierni Iraq, Turchia, Israele). Ci sono infatti periodi e zone ove lo sviluppo delle pratiche agricole provoca (in genere insieme con altri fattori concorrenti) il declino di intere popolazioni. Un buon esempio è offerto dai sumeri, la cui civiltà si sviluppò nel IV millennio a.C. raggiungendo elevate forme di organizzazione politica e sociale, anche per la messa a punto di un geniale sistema di irrigazione che permetteva una produzione agricola e alimentare enormemente superiore a quella delle altre popolazioni confinanti. Ma proprio questo sistema è la causa del successivo collasso. Infatti l'acqua distribuita dal sistema di irrigazione determinava un progressivo innalzamento della falda. Allorché raggiunse il livello del suolo cominciò a evaporare, lasciando depositi di sale nel terreno. L'accumulazione del deposito salino condusse a una progressiva diminuzione della produzione agricola e al declino della civiltà sumerica. Ascesa e declino dell'impero dei sumeri sono descritti in Sandra Postel, *Pillar of Sands: Can the Irrigation Miracle Last?* Norton, New York 1999: tutti i sistemi di irrigazione, per quanto sofisticati, sono destinati al declino, questa è l'importante lezione che offre il libro, scritto da una esperta del settore.

²³ Sui pluviculturalisti e sul più importante di essi, il meteorologo James Esby, divenuto a un certo punto noto come «Re della pioggia» si veda James Rodger Fleming, *The Pathological History of Weather and Climate Modification: Three cycles of promise and hype*, in *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1, 3-25, 2006, in www.colby.edu/sts/06_fleming_pathological.pdf

istituzioni e dei rapporti sociali avrebbero dovuto procedere di pari passo con interventi di *environmental engineering*, consistenti nel rimodellamento del pianeta e di sottoposizione a controllo delle forze naturali. L'obiettivo era di modificare la natura per renderla idonea a soddisfare i bisogni dell'uomo: una delle tappe era il controllo del clima, in modo da rendere fresche le regioni più torride e più temperate le regioni fredde²⁴. Tra i più noti utopisti del clima c'è anche il noto scrittore William Dean Howell che dedica alla fine del secolo XIX tre romanzi a Altruria, un paese situato nell'emisfero meridionale dove sono realizzate riforme sociali nel senso dell'uguaglianza, della tolleranza e della razionalizzazione dei consumi e dove il clima è stato profondamente modificato. Spiega un Altruriano in visita negli Stati Uniti (con uno schema manifestamente ripreso da Montesquieu anche se Howell abbandona la struttura epistolare): «Avevamo un clima da modificare, stagioni da rendere più miti, un intero sistema meteorologico da mettere sotto controllo e a questi obiettivi abbiamo dedicato risorse che sono in genere destinate alla guerra»²⁵.

Anche in Unione Sovietica fioriscono sin dalla fine degli anni Venti progetti di intervento tecnologico sull'assetto climatico: il miglioramento delle condizioni naturali e l'attenuazione delle avversità climatiche attraverso l'uso della scienza e della tecnologia costituiscono i presupposti per la creazione di una nuova società. Secondo Gorki, proprio la capacità del comunismo di rimodellare la natura con interventi di quella che oggi viene chiamata *geoingegneria* avrebbe rappresentato la sua superiorità sul sistema capitalistico²⁶. Nel 1932 è istituito a Lenigrado un apposito istituto per gli studi climatici.

Dobbiamo però arrivare al secondo dopoguerra per assistere a una vera e propria esplosione degli studi e degli esperimenti sul clima. Gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica si rendono conto delle importanti implicazioni in termini di sicurezza, di difesa e, in genere, di utilizzazione bellica sia delle modificazioni involontariamente prodotte, sia degli effetti

potenzialmente dannosi di modificazioni intenzionali²⁷.

Negli Stati Uniti l'attenzione si polarizza per molti anni sul c.d. *Cloud seeding*, insieme delle tecniche per cambiare la quantità ed il tipo di precipitazioni attraverso la dispersione nell'atmosfera di sostanze chimiche che agiscono sulla formazione delle nuvole. Queste tecniche sono oggetto di sperimentazione e di applicazione da parte di imprese private che offrono i propri servizi climatici agli agricoltori, scatenando numerose controversie giudiziarie originate sia dall'adempimento agli impegni assunti, sia, in ipotesi di casuale riuscita, da parte di coloro che dalla pioggia sono danneggiati (ci sono varie decisioni giudiziarie in merito alla responsabilità per le conseguenze di operazioni volte a produrre variazioni atmosferiche).

Il *Cloud Seeding*, anche per le possibilità di impiego bellico, riceve consistenti finanziamenti governativi: del 1953 è la costituzione da parte del Congresso di un Comitato consultivo per il controllo del tempo²⁸.

Il clima è al centro delle attenzioni nell'Unione sovietica: nel 1948 Stalin annuncia il «Grande Piano per la trasformazione della natura» che indica il controllo del clima come obiettivo prioritario e nel 1961 il XX Congresso del Partito comunista individua nell'ingegneria climatica e specificatamente nella rimozione della calotta di ghiaccio polare per ridurre il rigore delle temperature nel nord del paese tra i più urgenti problemi che la scienza sovietica doveva risolvere²⁹.

Queste iniziative condotte dalle due maggiori potenze dell'epoca e, soprattutto, l'impiego di tecniche di *Cloud seeding* da parte degli Stati Uniti durante la guerra del Vietnam tra il 1967 e il 1972, hanno indotto le Nazioni Unite a mettere a punto

²⁷ David.W. Keith, *Geoengineering The Climate: History And Prospect*, in *Annual Review of Energy and Environment* n. 25, 2000, 245 e ss.

²⁸ Sulle ricerche e gli esperimenti di *cloud seeding* si veda James R. Fleming, *Fixing the Weather and Climate: Military And Civilian Schemes For Cloud Seeding And Climate Engineering* in Lisa Rosner (a cura di), *The technological fix: How people use technology to create and solve problems*, New York, 2004, 175-200.

²⁹ Nell'anno che precede il Congresso due scienziati Nicolai Petrovich Rusin and Lila Abramovna Flit Rusin pubblicano un'opera (*Man versus climate*, Mosca 1960) che riscuote grande successo e prospetta i progetti realizzabili nel prossimo futuro, tra cui quelli collegati al controllo del clima. Lo scioglimento dei ghiacci polari per l'utilizzo a scopo agricolo, minerario e di trasformazione climatica della zona artica del Polo Nord è oggetto già nel 1889 di uno dei meno noti romanzi di Jules Verne, *L'acquisto del Polo Nord*. Il progetto fallisce e Verne conclude il suo libro «Gli abitanti del mondo non dovettero più preoccuparsi: Come si vede, non è detto».

²⁴ si veda H.P. Segal, *Technological Utopianism in American Culture*, Uni of Chicago Press 1985. Una rassegna delle proposte degli utopisti climatici statunitensi del XIX secolo, centrata sull'opera di uno dei più importanti di essi, Edward Bellamy, è in William B. Meyer, *Edward Bellamy and the Weather of Utopia in Geographical Review*, vol.94 gennaio 1994, 43-54.

²⁵ William Dean Howells, *The Altrurian Romances*, Indiana University Press 1968.

²⁶ Maksim Gorky, *Sulla lotta contro la natura*, in Gorky e la scienza: articoli, discorsi, lettere, raccolti da N.Petrov, citato da William Meyer, pag.45.

nel 1976 una apposita Convenzione per proibire progetti concernenti l'uso di tecniche per la modificazione dell'ambiente a scopo militare o comunque per finalità belliche, c.d. Convenzione Ensod³⁰.

In questo stesso periodo si afferma prepotentemente una nuova disciplina, l'ingegneria nucleare, che sembra offrire la possibilità di ripulmare il pianeta per soddisfare i bisogni dell'umanità e incidere sul clima del pianeta.

Così, in un'epoca in cui era diffusa la convinzione che in pochi anni l'energia estratta dalla fusione o dalla fissione dell'atomo avrebbe soddisfatto il bisogno dell'intera umanità («i nostri figli avranno energia così a buon prezzo che sarebbe troppo costoso misurarla» affermava Lewis Strauss, il presidente della *Atomic Energy Commission* alla fine degli anni Cinquanta), gli obiettivi della geingegneria non mancavano: un uso mirato delle esplosioni nucleari avrebbe permesso di realizzare canali e barriere naturali, creare, distruggere o spostare montagne, riprogettare interi territori (soprattutto le zone polari)³¹; anche l'occlusione dello stretto di Gibilterra era tra i progetti presi in considerazione³². Il sogno della geingegneria nucleare applicata al clima, frutto dell'eccesso di ottimismo tecnologico del dopoguerra, è durato meno di venti anni e, fortunatamente, non si è mai realizzato, risparmiando così all'umanità conseguenze e disastri dei quali i promotori e i governi che li finanziavano non si rendevano conto (pur avendo provocato in quegli anni non poche vittime e consistenti distruzioni ambientali)³³.

³⁰ Il testo può essere consultato in www.un-documents.net/enmod.htm. Sulla Convenzione si veda Lawrence Juda, *Negotiating a Treaty on Environmental Modification Warfare: The Convention on Environmental Warfare and Its Impact upon Arms Control Negotiations*, in *International Organization*, 978, 975. Sulle operazioni di guerra climatica condotte dagli Stati Uniti in Vietnam si veda James R. Fleming, *The Climate Engineers in The Wilson Quarterly*, primavera 2007, p. 46, in www.wilsonquarterly.com/article.cfm?aid=973.

³¹ Lo scienziato nucleare Edward Teller nel 1956, fanatico propugnatore dell'uso dell'energia nucleare a scopi sia bellici che pacifici, ne ipotizzò l'uso per scavare un nuovo canale attraverso il deserto del Negev allorché l'Egitto si impossessò del Canale di Suez. In effetti nel settembre del 1957 fu portato a termine un test denominato *Plumbob Rainier*: fu fatta esplodere una bomba nucleare di 1.7 kilotoni nel deserto del Nevada che distrusse uno strato roccioso e produsse un'cavità di circa 60 metri, dimostrando secondo gli scienziati che l'energia nucleare avrebbe potuto essere usata per ridisegnare il territorio.

³² L'idea è stata rilanciata negli anni Novanta come specifico rimedio agli effetti del cambiamento climatico sulle sponde del Mediterraneo: R.G. Johnson, *Climate Control Requires a Dam at the Strait of Gibraltar* in *EOS*, 277-281, 1997.

³³ Un resoconto affascinante del mito dell'uso dell'energia nucleare per scopi di geingegneria è nel libro di Seife, *Sun in the Bottle*, Penguin 2008. A quella stessa epoca appartengono ri-

Ma, accantonate le sue più cruente e distruttive applicazioni, l'insorgere della necessità di contenere il cambiamento climatico ha offerto nuove basi e nuove prospettive al sogno di controllare il clima.

Rimuovere o compensare: due strategie di geingegneria

La geingegneria comprende due gruppi di tecniche diversi tra loro.

Le tecniche del primo gruppo operano direttamente sulle cause del cambiamento climatico; si propongono quindi di *rimuovere* l'anidride carbonica e i gas serra immessi nell'atmosfera (le tecnologie incluse in questa strategia sono denominate *Carbon dioxide removal* o Cdr); le tecniche del secondo gruppo tendono a *compensare* l'aumento di gas serra nell'atmosfera riducendo la quantità di radiazioni solari che penetrano in essa (queste tecnologie sono denominate *Solar Radiation Management* o Srm).

Secondo **alcuni scienziati**, solo questo secondo gruppo rientra nella geingegneria, in quanto le tecniche del primo gruppo sono riconducibili ad azioni di adattamento al cambiamento climatico sprovviste del requisito della *globalità* (requisito che, come si è visto, insieme alla intenzionalità definisce la geingegneria)³⁴.

Rientrano nell'ambito del primo gruppo:

- i sistemi di gestione della superficie terrestre che sviluppano e incrementano i luoghi, naturali o artificiali, che assorbono anidride carbonica (c.d. *land carbon sinks*): i principali progetti riguardano la realizzazione di nuove aree forestate e la limitazione della deforestazione;
- l'utilizzo di biomasse per raccogliere anidride carbonica;
- lo sviluppo di processi naturali geologici che rimuovono l'anidride carbonica dall'atmosfera;

cerche e progetti di *Terraforming* - dirette antecedenti della attuale geingegneria - cioè l'uso di tecnologie idonee a rendere abitabile per l'uomo un pianeta o la luna, intervenendo sulla sua atmosfera in modo da renderla simile a quella della terra. Questa disciplina non è stata solo materia della letteratura fantascientifica, ma anche di una ragguardevole produzione scientifica a partire da uno scritto di Paul Sagan su *Science* avente ad oggetto le possibilità di modificare l'atmosfera di Venere per rendere il pianeta abitabile: sulla storia e lo sviluppo della terraforming si veda Keith, cit., p. 253 e più ampiamente Martin J. Fogg, *Terraforming: Engineering Planetary Environments*. Warrendale PA, 1995. L'articolo di Carl Sagan, *The planet Venus* è in *Science* 1961, 849, 58, seguito nel 1973 da un analogo articolo sull'adattamento dell'atmosfera di Marte: Carl Sagan, *Planetary engineering on Mars* in *Icarus* 1973, 513, 14.

³⁴ William Daniel Davis, *What Does "Green" Mean?: Anthropogenic Climate Change, Geoengineering And International Environmental Law*, in *Georgia Law Review*, 2009 920.

- la cattura di anidride carbonica all'interno degli impianti di produzione di energia elettrica o degli impianti industriali prima del suo rilascio nell'atmosfera e il suo successivo contenimento in appositi depositi naturali o artificiali con tecniche generalmente denominate *Carbon Capture and Sequestration*, Ccs (alcune già in corso di attuazione)³⁵;

- la fertilizzazione degli oceani: cospargendo la superficie marina di apposite sostanze (fosforo, nitrogeni e, nell'area antartica, ferro: questo era l'oggetto del progetto Lohafex cui abbiamo accennato) si favorisce la crescita del plankton che si sviluppa assorbendo anidride carbonica e depositandone una parte nei fondali dell'oceano con il plankton che esaurisce il suo ciclo vitale ed è quindi sottratta in modo pressoché definitivo dall'atmosfera³⁶.

I metodi inclusi nel secondo gruppo, quelli che secondo molti esperti costituiscono la geoeingegneria in senso proprio perché tendono a introdurre intenzionalmente modifiche al clima globale sono, come si è detto, volti a influire sulla quantità e l'intensità delle radiazioni solari. Essi comprendono sia le tecniche che si propongono di respingere nello spazio una parte delle radiazioni solari destinate a penetrare nell'atmosfera, sia le tecniche che si propongono di aumentare l'albedo, cioè la riflessione della luce da parte della terra in modo da ridurre l'assorbimento delle radiazioni³⁷.

Le principali tecnologie attualmente allo studio sono:

- l'incremento dell'albedo della superficie terrestre o marina;

- la riproduzione degli effetti delle eruzioni vulcaniche immettendo nell'atmosfera polveri di materiali analoghi a quelli emessi dai vulcani (in modo da riprodurre il cd effetto Pinatubo, dal nome del vulcano la cui eruzione nel 1991 ha immesso una enorme quantità di particelle e polveri che hanno impedito

alle radiazioni solari di giungere sulla superficie terrestre ed hanno provocato un raffreddamento della superficie terrestre stimato in circa mezzo grado)³⁸;

- lo sbiancamento delle nuvole in modo da riflettere i raggi del sole (le nuvole bianche aumentano l'albedo della terra, riflettendo più luce del sole verso lo spazio³⁹;

- la realizzazione di condutture oceaniche verticali che trasportino il calore atmosferico verso la profondità marina;

- la collocazione di specchi deflettenti nello spazio. Secondo gli esperti, tutti i metodi indicati inclusi nei due gruppi sono attuabili con le conoscenze scientifiche e tecnologiche attualmente disponibili, purché vi siano adeguati investimenti per la ricerca e lo sviluppo. Questo significa anche che nessuno di essi è attualmente pronto per essere applicata su scala globale a costi contenuti. Anzi: la maggior parte dei metodi non è ancora stato oggetto di adeguata sperimentazione sul campo.

L'aspetto positivo dei metodi inclusi nel primo gruppo (che, come accennato, molti non ricomprendono nella geoeingegneria) è che essi riducono le conseguenze dannose dell'eccesso di anidride carbonica immessa nell'atmosfera operando direttamente, come si è detto, sulle cause che producono il cambiamento climatico. Tuttavia, essi richiedono tempi lunghi (dell'ordine di alcuni decenni) per produrre effetti, sicché sono inutili per fronteggiare eventi imprevisi e ravvicinati nel tempo provocati dal cambiamento climatico.

Le singole tecnologie presentano poi significative

³⁵ Sull'argomento si veda David W. Keith, *Geoengineering*, in Andrew S. Goudie (a cura di) *Encyclopedia Of Global Change: Environmental Change And Human Society* 495, 2002; per una descrizione del processo scientifico si veda www.greenfacts.org/en/anidride-carbonica-capture-storage/index.htm

³⁶ James Edward Peterson, *cit.*; si veda inoltre la nota 1. Lo scritto di Abate e Greenlee offre una completa panoramica del dibattito giuridico sulla fertilizzazione degli oceani.

³⁷ Circa il 30% delle radiazioni solari dirette verso la terra sono respinte nello spazio dalla stratosfera terrestre: questo fenomeno è denominato l'albedo planetaria. L'albedo massima è 1, quando tutta la luce incidente viene riflessa. L'albedo minima è 0, quando nessuna frazione della luce viene riflessa. In termini di luce visibile, il primo caso è quello di un oggetto perfettamente bianco, l'altro di un oggetto perfettamente nero. Valori intermedi indicano situazioni intermedie.

³⁸ È tutt'altro che un'idea nuova. Negli anni Quaranta del XIX secolo il già citato meteorologo statunitense James Espy propose al Congresso di realizzare dei vulcani artificiali per incrementare le piogge nei territori dell'Ovest. Si veda James R. Fleming, *Climate Engineering Is Untested And Dangerous*, in *The New Security Beat*, 20 agosto 2009, in <http://newsecuritybeat.blogspot.com/2009/08/guest-contributor-james-r-fleming.html>. Più recentemente (negli anni Settanta del secolo scorso), osservando le conseguenze climatiche delle grandi eruzioni vulcaniche, il geofisico bielorusso Mikhail Budyko - considerato tra i fondatori della climatologia e uno dei più importanti studiosi dei fenomeni di albedo - ha proposto di disperdere nell'atmosfera particelle che riflettono i raggi del sole verso lo spazio.

³⁹ È stato recentemente lanciato il progetto Silver Lining da una società con sede a San Francisco, finanziato da Bill Gates per sviluppare tecnologie volte ad aumentare la bianchezza delle nuvole marine. Il progetto prevede l'impiego di dieci navi che dovrebbero operare su un'area di 10.000 km² di oceano. Uno studio condotto nel 2009 indica che una flotta di 1900 navi potrebbe arrestare l'aumento della temperatura terrestre vaporizzando acqua marina verso le nuvole. Il costo è stato stimato in 5 miliardi di dollari. Si veda Ben Webster, *Bill Gates Pays For Artificial Clouds To Beat Greenhouse Gases*, 8 Maggio 2010, in http://technology.timesonline.co.uk/tol/news/tech_and_web/article7120011.ece.

differenze per ciò che riguarda gli effetti, per i possibili impatti sull'ambiente, per il verificarsi di conseguenze impreviste sull'ecosistema interessato e, infine, con riguardo ai costi.

I metodi riguardanti la gestione del territorio che non determinano alterazioni all'ecosistema, e quindi i progetti di forestazione di zone attualmente aride e la riduzione della deforestazione sono quelli che producono minor impatto ambientale, ma sono anche quelli più difficili da realizzare per ragioni economiche e politiche; gli effetti sono poi diluiti nel tempo e proporzionali alle aree coinvolte sicché è improbabile che essi da soli possano offrire un consistente contributo all'abbattimento del cambiamento climatico.

I progetti di separazione della anidride carbonica nell'ambito di impianti di produzione di energia o di impianti industriali prima del rilascio nell'atmosfera potrebbero offrire benefici concreti solo se realizzati su larga scala, in modo diffuso e per un lungo periodo di tempo. A questo punto, però si porrebbero problemi di impatto ambientale che dovrebbero essere attentamente esaminati: infatti la anidride carbonica, dopo la separazione, deve essere trasferita in apposite discariche sotterranee e lì conservata per un tempo indefinito. Inoltre, l'efficacia di queste tecniche è ridotta sia perché l'estrazione e il contenimento della anidride carbonica richiede impiego di energia e quindi rilascio di gas serra nell'atmosfera, sia perché nel tempo parte della anidride carbonica oggetto del processo viene comunque rilasciata nell'atmosfera.

Più dubbi e più controversi sono gli effettivi benefici realizzabili dai progetti di fertilizzazione dell'oceano: l'effettiva rimozione di anidride carbonica sembra infatti verificarsi in quantità ridotta⁴⁰ e sono inoltre ignote le conseguenze di tipo ambientale sulla fauna e sull'ecosistema interessato⁴¹. In particolare, nel luglio del 2007 il Comitato scientifico istituito dalla Convenzione di Londra per la tutela dei mari dall'inquinamento provocato dall'immersione di rifiuti e altri materiali ha invita-

⁴⁰ Sugli effetti di questi interventi si veda Stephane Blain e altri, *Effect of Natural Iron Fertilization on Carbon Sequestration in the Southern Ocean*, in *Nature*, 2007, n. 466, 1070. Tuttavia, recenti scoperte sembrerebbero dimostrare che la cattura di anidride carbonica avviene in misura ben più cospicua, per opera di microrganismi finora trascurati: se queste prime indagini risultassero confermate, l'utilità di questi interventi sarebbe ovviamente ben più consistente: in proposito si veda *Invisible Carbon Pumps* in *The Economist* 11/17 settembre 2007 pag.71.

⁴¹ Si è accennato (sopra, nota 1) alla reazione negativa degli esperti di diritto internazionale e degli ambientalisti all'attuazione di questo tipo di sperimentazioni.

to gli Stati a prestare la massima attenzione prima di avviare progetti di fertilizzazione oceanica⁴². Nel novembre dello stesso anno le parti contraenti della Convenzione di Londra hanno fatto propria la Dichiarazione, invitando gli Stati ad adottare estrema cautela nell'approvare progetti di fertilizzazione in quanto «allo stato delle conoscenze scientifiche questi progetti non sono attuabili»⁴³. Successivamente, nel 2008, anche la Conferenza delle parti della Convenzione sulla Biodiversità si è pronunciata sull'argomento invitando i Governi a non consentire, in attuazione del principio di precauzione, esperimenti di fertilizzazione oceanica fino a che non vi saranno adeguate basi scientifiche che permettano di prevederne le conseguenze e tutti i rischi connessi e fino a che non sarà istituito un sistema per controllare e regolare in modo trasparente e globale questo tipo di attività⁴⁴.

Più rapidi sono gli effetti dei metodi inclusi nella seconda strategia, il cui obiettivo, come si è visto, è solo quello di compensare l'immissione di gas serra nell'atmosfera riducendo le radiazioni solari che vi penetrano. Essi quindi presentano il vantaggio di poter essere attuati per fronteggiare situazioni di urgenza. I metodi che prevedono la diffusione di polveri e aerosol nell'atmosfera avrebbero inoltre il vantaggio del ridotto costo di realizzazione: pochi centesimi per ciascuna tonnellata di anidride carbonica abbattuta, secondo uno studio - oggi datato - del *Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming* del 1992⁴⁵, sostanzialmente confermato in epoca più recente dall'economista statunitense William Nordhaus secondo cui tutte le emissioni di gas serra potrebbero essere annullate con una spesa di 8 milioni di dollari all'anno: un costo insignificante a fronte dei costi necessari per realizzare gli interventi di mitigazione⁴⁶. Pochi miliardi di dollari

⁴² International Maritime Organization [Imo], *Statement of Concern Regarding Iron Fertilization of the Oceans to Sequester anidride carbonica*, LC-LP.1/Circ.14 (13 luglio 2007), in www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D19542/14.pdf.

⁴³ International Maritime Organization (Imo), *Report of the Twenty-Ninth Consultative Meeting and the Second Meeting of the Contracting Parties*, specificatamente §§ 4.23.1-3, LC 29/17, 14 dicembre 2007, in www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D20797/17.pdf.

⁴⁴ Conferenza delle parti della convenzione sulla biodiversità, IX Meeting, Bonn, Germany, Maggio 19-30, 2008, Decision IX/16: Biodiversity and Climate Change, § C(4), in www.cbd.int/doc/decisions/cop-09/cop-09-dec-16-en.pdf.

⁴⁵ Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming, *Policy implications of greenhouse warming: mitigation, adaptation, and the science base*, National Academy Press, Washington, DC, 1992.

⁴⁶ William Nordhaus, *A question of balance: weighing the op-*

anno, meno dell'1% del costo di riduzione delle emissioni, sarebbe il costo secondo stime più recenti⁴⁷.

Tuttavia, molti scienziati ritengono che le sostanze utilizzabili per attuare questo metodo potrebbero danneggiare lo strato di ozono che protegge la terra dai raggi ultravioletti (analogamente a quanto accadeva con i Cfc messi al bando dal Protocollo di Montreal). Inoltre, l'attenuazione delle radiazioni solari sarebbe assai limitata e tale da non compensare neppure l'aumento di emissioni di gas serra in mancanza di accordi di mitigazione. In definitiva, questo metodo potrebbe essere proficuamente utilizzato solo per guadagnare tempo, ma dovrebbe comunque essere abbinato ad un serio programma di riduzione delle emissioni⁴⁸.

Anche il metodo che prevede l'uso degli specchi deflettenti avrebbe costi contenuti e, in aggiunta, il vantaggio di offrire la possibilità di graduare la quantità di radiazioni che viene respinta anche con riferimento alle diverse esigenze del pianeta (operando così un controllo mirato del clima) manovrando l'inclinazione degli specchi (che, in caso di necessità, potrebbero essere anche spostati). Anche in questo caso però non devono essere sottovalutati gli aspetti negativi, sia per ciò che concerne l'impatto ambientale delle modifiche climatiche poste in essere, sia per gli aspetti logistici e organizzativi, sia infine per i problemi di *governance* che esso pone a livello internazionale. Su di essi torneremo nella parte finale di questo articolo.

Il prezzo del fallimento degli accordi globali: la geoegegneria come polizza di assicurazione per il pianeta

Il Rapporto della *Royal Society*, allo stato la più approfondita ed equilibrata valutazione dell'utilizzabilità della geoegegneria per contenere il cambiamento climatico, pone in chiaro due punti. Il primo è che sono attualmente ignoti molti aspetti concernenti l'efficacia, i costi, i rischi e gli impatti ambientali della maggior parte delle tecnologie di geoegegneria e, specificatamente, di tutte quelle appartenenti alla seconda delle due strategie: esse infatti mancano di adeguate verifiche sperimentali e quindi potrebbero avere conseguenze gravi, ignote e imprevedibili sugli uomini e sull'ambiente. In proposito osserva James Lovelock, il fondatore della

tions on global warming policies, Yale University Press 2008.

⁴⁷ David G. Victor e altri, *The Geoengineering Option*, in *Foreign Affairs*, Marzo-Aprile 2009, .69; Lin, *cit.*, 11.

⁴⁸ Si veda sul punto Lin, *cit.*,

teoria di Gaia, che «la nostra ignoranza del sistema terra è grande: sappiamo poco di più di quanto un medico dell'inizio del XIX secolo conosceva del corpo umano. La geoegegneria è come curare un paziente con la polmonite immergendolo nell'acqua gelata: si cura la febbre, non la malattia»⁴⁹.

In particolare, se si adottassero metodi di gestione delle radiazioni solari si verrebbe a creare un sistema artificiale di bilanciamento tra la crescente immissione di gas serra nell'atmosfera e la riduzione di radiazioni solari che vi penetrano, da mantenere perfettamente operativo in tutte le sue componenti per secoli: una situazione che pone rischi imprevedibili e potenzialmente catastrofici.

Anche il metodo della diffusione di polveri nell'atmosfera per ridurre la penetrazione dei raggi solari potrebbe provocare, secondo un noto climatologo, modificazioni del ciclo monsonico con danni incalcolabili all'agricoltura indiana e africana⁵⁰.

Proprio sulla base di queste considerazioni prima la *American Meteorological Society* e, poco dopo, la *American Geophysical Union* hanno rilasciato delle dichiarazioni invitando alla prudenza e osservando che è attualmente incerto se i benefici derivanti dall'uso della geoegegneria sarebbero tali da superare i costi e i rischi di conseguenze imprevedibili sull'ambiente e sull'equilibrio dell'ecosistema complessivo⁵¹.

Queste conclusioni gettano acqua sul fuoco dell'entusiasmo di molti fautori della geoegegneria.

Il Rapporto della *Royal Society* inoltre, pur riconoscendo che i costi sarebbero inferiori a quelli necessari per l'attuazione delle strategie di mitigazione delle emissioni⁵², ne pone in dubbio la convenienza: tutte le stime infatti non tengono conto dei rischi

⁴⁹ Da James Lovelock, *Better, Perhaps, To Let The Earth Look After Itself Than Try To Regulate Its System Through Mirrors, Clouds And Artificial Trees*, in *The Guardian* 21 Settembre 2009. Lovelock ha formulato l'ipotesi di Gaia nel 1979 in *Gaia. A New Look at Life on Earth*. Nel 2009 ha pubblicato il sesto libro su Gaia, specificatamente dedicato al cambiamento climatico: *The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning*, Basic Book 2009.

⁵⁰ Alan Robock, *20 Reasons Why Geoengineering May Be a Bad Idea*, in *Bulletin of Atomic Scientists* 2, 14-18, 2008.

⁵¹ *American Meteorological Society, Geoengineering the Climate System. A Policy Statement*, 20 luglio 2009 in www.ametsoc.org/POLICY/draftstatements/geoengineering_draftstatement.pdf; preoccupazioni analoghe sono state espresse poco dopo da American Geophysical Union, *Geoengineering the Climate System*, 13 dicembre 2009 in www.agu.org/sci_pol/positions/geoengineering.shtml

⁵² David W. Keith, *Geoengineering The Climate: History And Prospect in Annual Review of Energy and Environment*, 25, 2000, 245-284.

derivanti dall'impiego di queste tecniche e dei costi di eventuali danni non previsti sull'ambiente globale e su quello di singoli stati.

Nello stesso tempo, ed è questo il secondo punto, il rapporto della *Royal Society* esclude con vigore che la geoeingegneria possa offrire una soluzione definitiva al problema del cambiamento climatico: «l'unica soluzione definitiva resta e deve restare quella della riduzione delle emissioni di gas serra»⁵³.

Questa conclusione è manifestamente rivolta a rassicurare tutti coloro che temono l'affermarsi della geoeingegneria come alternativa alla mitigazione⁵⁴.

D'altro canto non bisogna dimenticare che, come si è visto, gli sforzi per giungere ad accordi sulla riduzione delle emissioni non hanno sinora dato risultati: le emissioni continuano a crescere ed è prevedibile che già fra pochi decenni si verificheranno, soprattutto nelle aree più esposte, i primi danni irreversibili prodotti dal cambiamento climatico. In questa situazione lo sviluppo dei vari metodi di geoeingegneria deve essere considerato non solo opportuno, ma addirittura doveroso non come alternativa alle azioni di riduzione, ma come il prezzo da pagare per i fallimenti sinora registrati dalla comunità internazionale nella politica di contenimento del clima e gli unici strumenti disponibili per porre in essere tamponamenti d'emergenza in caso di eventi climatici di particolare intensità cui sia necessario far fronte con urgenza.

La geoeingegneria deve essere quindi considerata, per l'incapacità dimostrata sinora da parte della comunità internazionale di concordare e attuare un efficace piano di riduzione delle emissioni, come un rimedio temporaneo e urgente per impedire il verificarsi di danni ormai (secondo alcuni) inevitabili e un mezzo per guadagnare il tempo necessario per mettere a punto efficaci accordi di mitigazione delle emissioni. È in definitiva necessario prendere atto che oggi non è possibile avviare la rivoluzione tecnologica e energetica che permetterebbe di attenuare gli effetti del cambiamento climatico: la geoeingegneria permette di guadagnare tempo prezioso⁵⁵, offrendo una sorta di polizza di assicurazione per il pianeta: essa è attualmente, secondo il Presidente della Commissione di scienziati che ha predisposto il rapporto della *Royal Society*, «la sola opzione ri-

masta per cercare di limitare l'aumento della temperatura globale»⁵⁶.

Ambiente, governance e sicurezza: gli ambigui vantaggi della geoeingegneria

Anche se la geoeingegneria costituisce la sola opzione rimasta per evitare eventi climatici catastrofici, molti e non del tutto ancora ben messi a fuoco, sono i problemi da affrontare. Specificatamente con riguardo alle tecniche ricomprese nel secondo gruppo, e cioè quelle che si propongono di intervenire sulle radiazioni solari essi riguardano, oltre a quelli specificatamente ambientali, la governance globale, la sicurezza internazionale e, ancora una volta, i rapporti tra paesi ricchi, paesi emergenti e paesi poveri.

Abbiamo visto infatti che le tecniche di geoeingegneria, una volta sviluppato il necessario know-how, sono realizzabili in tempi relativamente rapidi con costi che potrebbero essere contenuti rispetto a quelli necessari per avviare una politica di contenimento di riduzione delle emissioni; essi inoltre, a differenza delle azioni di riduzione delle emissioni di gas serra, *non richiedono consenso* né appositi trattati internazionali e possono quindi essere attuati, singolarmente o in associazione tra loro, da numerosi paesi, inclusi molti dei paesi ad economia emergente.

Una iniziativa unilaterale inoltre non può dirsi vietata dal diritto ambientale internazionale: il principio 15 della Dichiarazione di Rio prevede la possibilità di adottare misure nazionali, quindi in modo unilaterale, per prevenire il degrado ambientale, anche in assenza di piena certezza scientifica, a condizione che vi sia il rischio di danni seri ed irreversibili, vi sia un principio di prova e le misure siano temporalmente limitate.

L'uso della geoeingegneria elimina quindi, a prima vista, il principale ostacolo alla realizzazione di azioni efficaci per contenere il cambiamento climatico: la necessità del consenso globale.

Non per questo però la possibilità di introdurre modifiche al clima senza consenso globale deve essere considerata necessariamente positiva e ammissibile sulla base delle norme e dei principi del diritto ambientale internazionale.

Certo, si può osservare che l'introduzione di modifiche unilaterali al clima è quello che è accaduto sinora e continua ad accadere per perseguire unilate-

⁵³ Sul punto si veda anche Lin, *cit.*, pag.

⁵⁴ RALPH J. CICERONE, *Geoengineering: Encouraging Research And Overseeing Implementation In Climatic Change* PAGG.221. 226, 2006

⁵⁵ P.J. Crutzen, *Albedo Enhancement By Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution To Resolve A Policy Dilemma?* in *Climate Change*, 2006, 211-219.

⁵⁶ Ben Webster, *Catch-22: Save The Planet, Cause a global catastrophe; Technologies to cool the Earth have their own dangers*, in *The Times* 2 settembre 2009.

rali obiettivi di sviluppo, inconsapevolmente prima, coscientemente negli ultimi decenni⁵⁷. In proposito, nessuno ha ipotizzato la necessità di consenso della comunità internazionale, pur essendo oggetto di dibattito e discussione se queste alterazioni possano costituire una fonte di responsabilità a livello internazionale⁵⁸, tenuto anche conto che l'art.21 della Dichiarazione di Stoccolma nel riconoscere la sovranità degli Stati sulle loro risorse naturali e il diritto di utilizzarle conformemente alle loro politiche di sviluppo e ambientali, pone l'obbligo di non causare danni all'ambiente di altri Stati.

Sembrirebbe quindi di poter sostenere che altrettanto lecito dovrebbe essere introdurre *unilateralmente* alterazioni di segno positivo finalizzate a riequilibrare l'assetto climatico globale: se non è illecita la produzione unilaterale di danni all'ambiente globale per perseguire proprie esigenze di sviluppo, non dovrebbero ritenersi vietate neppure azioni unilaterali che si propongano di attenuarli.

Non è però così: le differenze ci sono e sono tutt'altro che marginali.

Vediamo tre ipotesi.

a) alcuni paesi (gli Stati Uniti o la Cina, per esempio) decidono di compensare in tutto o in parte gli

effetti negativi delle proprie emissioni di gas serra. Con le tecniche di geoingegneria di deviazione o assorbimento dei raggi solari annullano (offset) la quota di cambiamento climatico a loro imputabile in modo da sfuggire responsabilità, morali se non strettamente giuridiche, per danni da alterazione climatica prodotte ad altri paesi.

b) gli stessi paesi decidono di trarre anche qualche vantaggio dall'azione di compensazione delle loro emissioni. Mettono quindi a punto una tecnica che non solo annulla la quota di cambiamento climatico a loro imputabile, ma migliora anche le condizioni climatiche del proprio territorio.

c) uno o più paesi associati pongono in essere azioni di geoingegneria non per attenuare il cambiamento climatico globale compensando in tutto o in parte la propria quota di emissioni ma *solo* per migliorare il proprio clima o per evitare le conseguenze negative o i rischi del cambiamento climatico in corso al proprio territorio, senza curarsi degli effetti che queste azioni possono provocare sul clima di altri paesi.

Queste tre ipotesi di azione unilaterale sul clima sono tra loro diverse: la prima persegue esclusivamente l'interesse generale, la seconda combina interesse generale e interesse particolare di chi la pone in essere; la terza, puramente egoistica, persegue esclusivamente l'interesse particolare senza alcuna pretesa di contribuire all'abbattimento del cambiamento climatico ed anzi, disinteressandosi delle conseguenze: si tratta di un atteggiamento che, tra l'altro, potrebbe mettere in moto un effetto di *slippery slope* e sviluppare una competizione estesa a molti paesi per realizzare modifiche climatiche a proprio esclusivo vantaggio.

Tutte e tre le azioni però possono produrre, oltre agli effetti voluti di abbattimento delle emissioni e agli effetti migliorativi, anche effetti negativi - imprevisti e indesiderati, oppure prevedibili, oppure addirittura previsti - sul clima, sull'ambiente, sugli assetti economici e sociali, a livello globale oppure in zone delimitate del pianeta o creare danni o rischi aggiuntivi per altri paesi. In questi casi, si porrebbe quindi la difficile scelta degli stati che intraprendono queste azioni tra rinunciare all'abbattimento dei rischi su scala globale oppure privilegiare l'interesse generale (ed anche il proprio) sacrificando alcune aree del pianeta.

Ancor più dubbie, sotto il profilo della compatibilità con il diritto internazionale ambientale, sarebbero le azioni che ricadono nella terza ipotesi, quelle cioè poste in essere da uno stato o da un gruppo di stati al fine di proteggere il proprio clima dagli effetti del

⁵⁷ Il primo appello per un controllo del clima è del 1979, durante la prima Conferenza mondiale sul clima svoltasi a Ginevra. Poco dopo, nel 1981, vengono diffusi i preoccupanti studi di Hansen sul cambiamento climatico a seguito dei quali si avviano ricerche per verificare che cosa stia in effetti succedendo del clima terrestre. Nel 1988 è istituito l'ipcc, *Intergovernmental Panel On Climate Change* costituito dai maggiori esperti delle varie discipline scientifiche potenzialmente interessate dall'effetto serra (designati da ciascun paese), con il compito di indirizzare, raccogliere e valutare tutti i dati raccolti nelle varie ricerche di settore. Nello stesso anno 1988 l'Assemblea generale dell'ONU adotta una risoluzione (43/53) concernente la *protezione del clima globale nell'interesse delle generazioni presenti e future*. La tutela dell'assetto climatico è qualificata con una preoccupazione comune dell'umanità (*common concern of mankind*).

⁵⁸ Brooke Ackerly - Michael P. Vandenberg, *Climate Change Justice: The Challenge for Global Governance in Georgetown International Environmental Law Review* 2008, 20, 553. In realtà gli stati che emettono gas serra non contestano la validità e l'operatività del principio, ma si limitano per lo più a negare che le loro emissioni producano danni significativamente rilevanti al clima di altri stati. Sul tema si veda Michael G.Faure - André Nollkaemper, *International Liability as an Instrument to Prevent and Compensate for Climate Change in Stanford Journal of International Law*, 2007 in <http://ssrn.com/abstract=1086281>. C'è un caso in cui questa violazione è stata ipotizzata in concreto: l'emissione incontrollata di gas serra nell'atmosfera come violazione di un diritto umano è alla base di un ricorso proposto nel 2005, e tuttora pendente, alla *Inter-American Commission on Human Rights (IACHR)*, organo della Organizzazione degli Stati americani (OAS), dalla *Inuit Circumpolar Conference (ICC)* che coordina le popolazioni Inuit (circa 155.000 persone) residenti nelle zone artiche di Canada, Russia, Groenlandia e Stati Uniti contro gli Stati Uniti quali maggiori responsabili del cambiamento climatico che sta sconvolgendo l'ambiente ove gli Inuit vivono. L'obiettivo è ottenere una decisione che imponga l'adozione di politiche di riduzione delle emissioni di gas serra.

cambiamento climatico, senza tenere conto degli effetti climatici negativi che potrebbero colpire specifiche aree del pianeta.

In questo caso, dovrebbe ritenersi violato il principio del diritto internazionale ambientale fissato dall'art.21 della Dichiarazione di Stoccolma già ricordato che impone, nell'esercizio di attività che rientrano nella propria sovranità, di non provocare danni transfrontalieri ad altri stati.

Tuttavia, non bisogna dimenticare che molti Stati, fra qualche decennio, potrebbero essere costretti ad assumere iniziative unilaterali per proteggere il proprio territorio, il proprio ambiente e la propria popolazione da gravi e magari catastrofiche conseguenze. Sarebbe davvero criticabile il comportamento di uno o più piccoli stati esposti che decidano di agire con azioni di geoingegneria senza attendere accordi globali per far fronte a rischi che non hanno contribuito a provocare e che si trovano a dover subire?

C'è poi una quarta, più inquietante, ipotesi da prendere in considerazione, e cioè l'utilizzazione di tecniche di geoingegneria al fine di modificare l'assetto climatico di altri paesi. In questo modo queste tecniche divengono non strumento per attenuare il cambiamento climatico ma un mezzo di pressione, di controllo o addirittura una vera e propria arma climatica nelle relazioni internazionali. Ha osservato alcuni decenni orsono un generale statunitense che «la nazione che per prima impara a prevedere i percorsi delle nuvole e a controllare tempi e modalità delle precipitazioni atmosferiche controllerà il mondo»⁵⁹; sembra difficile ipotizzare che non ci sarà neppure un paese che non tenterà di mettere a punto le tecnologie per raggiungere questo obiettivo.

Come si vede, i problemi che si pongono con l'uso unilaterale delle tecniche di geoingegneria sono di vario tipo, come di vario tipo sono i rischi che ne derivano.

Se poi si considera che, oltre agli stati, molte istituzioni pubbliche o private e molte multinazionali che operano nel settore dell'energia avrebbero i mezzi per avviare sperimentazioni di geoingegneria e eventualmente farne applicazione, è agevole concludere che quegli aspetti che appaiono a prima vista vantaggiosi - la possibilità di sviluppo e applicazione unilaterale e i costi ridotti - sono anche quelli che rendono la geoingegneria particolarmente inquietante.

⁵⁹ L'affermazione è attribuita al generale George C. Kenney in una intervista pubblicata sul *New York Times*, 15 June 1947, p. 46.

Conclusioni: la ricerca di regole per un consenso senza partecipazione

Anche per la geoingegneria quindi, come per le azioni di riduzione delle emissioni, si impone la ricerca di consenso della comunità internazionale. Esso tra l'altro, seppur non strettamente necessario, come si è visto, dal punto di vista tecnico e finanziario, potrebbe ritenersi imposto dal diritto internazionale dell'ambiente: il principio 24 della Dichiarazione di Stoccolma prevede infatti un obbligo generale di cooperazione tra gli Stati per controllare e prevenire gli effetti nocivi dell'inquinamento e del degrado ambientale.

In questo caso, tuttavia, il consenso non richiede necessariamente la *partecipazione* a progetti vincolanti di riduzione delle emissioni.

Ci sono altre le forme di consenso più semplici da realizzare (e non vanificate o vanificabili dal rifiuto di aderire di uno o più paesi) utilizzabili nella comunità internazionale per l'adozione di azioni collettive: si pensi alle iniziative di *peacekeeping* poste in essere da parte di alcuni stati su mandato delle Nazioni Unite o di altri organismi sovranazionali, o a quelle che prevedono semplici impegni di astensione, come accade per l'astensione dall'effettuare test nucleari, o ancora gli accordi per mantenere predeterminati livelli di coordinamento, di scambio di informazioni o di tecnologie, come accade quando si fissano standard internazionali per la conservazione dell'ambiente o per preservare la biodiversità⁶⁰.

Per porre in essere esperimenti e azioni di geoingegneria sarebbe quindi sufficiente un accordo generale cui dovrebbero prendere parte, sia pure limitatamente alla fase di negoziazione, tutti i componenti della comunità internazionale, in quanto tutti direttamente coinvolti dalle successive azioni che verrebbero poste in essere: sarebbe forse il primo caso di concreta applicazione nell'ordinamento giuridico globale della regola *quod omnes tangit*⁶¹, da inten-

⁶⁰ Per una analisi delle varie tipologie di azioni che possono essere poste in essere dalla comunità internazionale si veda Scott Barrett, *Why Cooperate?: The Incentive To Supply Global Public Goods*, spec. 92-93, Oxford University Press, 2007

⁶¹ In un suo recente libro Sabino Cassese descrive il percorso della regola *quod omnes tangit* dalle sue limitate applicazioni nel diritto romano all'attuale conformazione di principio cardine della sovranità popolare e della democrazia deliberativa, verificando come il principio democratico del consenso si applichi agli ordinamenti giuridici globali: si veda S. Cassese, *Il Diritto Globale*, Einaudi 2009; in generale sulla democrazia deliberativa: Simone Chambers, *Deliberative Democratic Theory*, in *Annual Review of Political Science*, p. 307-326, 2003. Colin Farrelly, *An Introduction to Contemporary Political Theory*, Londra Sage Publications 2004

dersi come cardine della democrazia deliberativa che tende solo a produrre decisioni, ma anche a costruirle attraverso il dibattito e la partecipazione.

L'accordo dovrebbe rispettare quelli che sono ormai noti come i principi di Oxford: cinque regole indicate dagli scienziati riuniti ad Asilomar nel 2009, recentemente presentate al parlamento britannico.

In primo luogo, la geoingegneria deve essere considerata come un bene comune e le sue applicazioni devono essere rivolte al perseguimento del pubblico interesse, pur essendo consentito anche alla ricerca privata di occuparsi delle tecniche di geoingegneria. Il secondo principio prevede che tutte le decisioni in questa materia devono essere assunte informando e sollecitando la partecipazione di tutta la comunità internazionale, in attuazione della regola del *prior informed consent*.

Il terzo principio stabilisce che tutti gli esperimenti devono essere effettuati in modo trasparente e i risultati devono essere resi pubblicamente noti e non coperti da brevetti.

Inoltre, ogni proposta di esperimento deve essere sottoposta a valutazione da parte di un organismo indipendente che ne valuti l'impatto alla luce del principio di precauzione.

Infine, le decisioni di porre in essere azioni di geoingegneria devono essere precedute dall'istituzione di apposite strutture di governance a livello internazionale.

Una volta raggiunto l'accordo in merito alle regole da rispettare, l'attuazione dell'attività di ricerca, di sperimentazione e poi delle azioni di geoingegneria non richiede più la partecipazione di tutti gli stati: l'attuazione degli accordi raggiunti potrebbe essere affidata agli stati disposti ad accollarsi i costi necessari.

Molti problemi resterebbero comunque da risolvere, sia in ordine alle modalità con le quali porre in essere le azioni, sia in ordine alla rilevanza di eventuali obiezioni da parte di stati che non intendono correre rischi, sia infine in ordine a eventuali responsabilità in caso di fallimento delle azioni intraprese o di danneggiamento del clima in talune aree del pianeta.

Proprio per questo molti ritengono che un accordo sarebbe altrettanto difficile da raggiungere dell'accordo in merito alla riduzione delle emissioni⁶².

In effetti, esso dovrebbe anche superare l'opposizione della maggior parte di coloro - scienziati, operatori delle agenzie internazionali, attivisti

ambientali - che si occupa di cambiamento climatico: il timore, già si è detto, è che la scelta di investire nelle ricerche di geoingegneria induca ad abbandonare o a ridurre gli impegni finanziari necessari per ridurre le emissioni.

Sono preoccupazioni indubbiamente fondate; esse, tuttavia, dovrebbero essere superate essendo ormai diffusa la certezza che qualsiasi accordo per la riduzione delle emissioni non riuscirà ormai a impedire i primi effetti del surriscaldamento del pianeta ed i primi disastri climatici per i paesi più esposti.

In definitiva, sotto il profilo scientifico e economico la geoingegneria, se contenuta nei limiti indicati dal Rapporto della *Royal Society* di rimedio temporaneo e di emergenza ai pericoli del cambiamento climatico in attesa che siano messi a punto accordi per la riduzione delle emissioni, presenta aspetti positivi: sembra in effetti difficile opporsi pregiudizialmente ad uno sviluppo dei finanziamenti, delle ricerche e delle sperimentazioni per questa disciplina al fine di verificarne da un lato la effettiva realizzabilità e i costi, dall'altro gli eventuali impatti negativi sull'ambiente globale e sugli ecosistemi interessati.

È questo del resto l'atteggiamento assunto dai principali organismi pubblici che si sono occupati dell'argomento, in una logica di mediazione e bilanciamento tra atteggiamenti permissivi che potrebbero condurre al verificarsi di rischi ambientali sconosciuti e atteggiamenti eccessivamente restrittivi che potrebbero impedire lo sviluppo di un settore di straordinaria importanza per i benefici che esso può offrire proprio al fine della tutela dell'ambiente: tutti coloro che si occupano di questo tema senza pregiudizi debbono avere un interesse comune, e cioè lo sviluppo di un insieme di regole che garantisca che eventuali azioni di geoingegneria siano poste in essere nel rispetto del principio di precauzione.

⁶² In proposito si veda Davis, *cit.* 928 e ss.