

# LE ORIGINI DELLA GEOINGEGNERIA

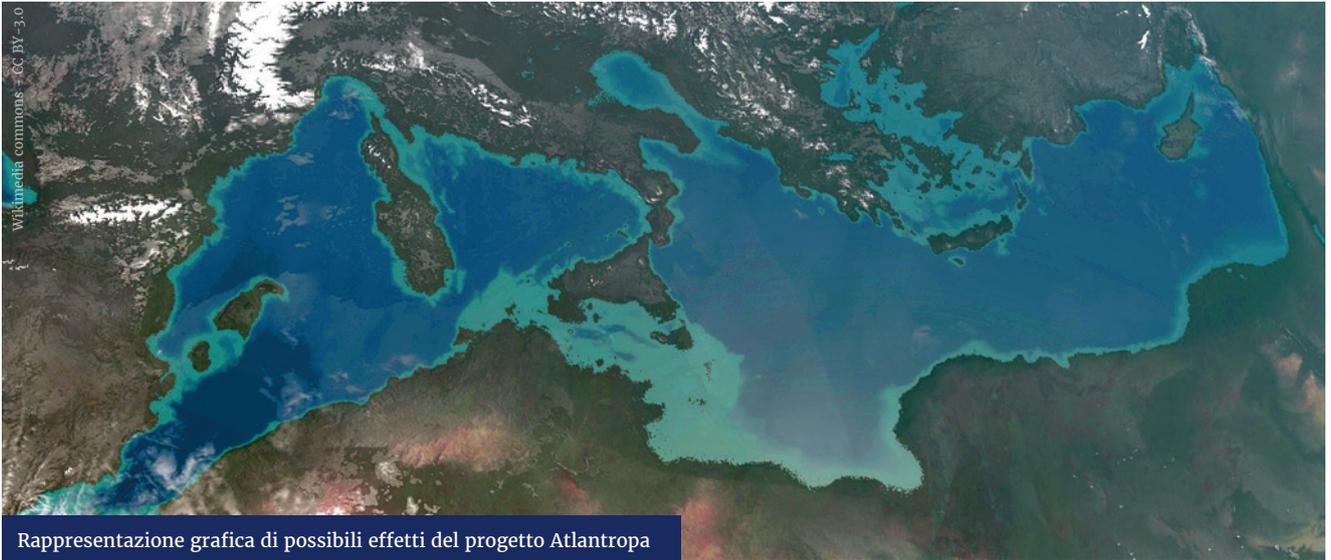
di Michele Manfrin

**IN** tempi recenti si discute sempre di più, anche sui canali di informazione *mainstream*, di geoingegneria e delle sue implicazioni, in quanto associate alla narrazione inerente al “cambiamento climatico”. Tuttavia, è da tempo che numerosi divulgatori cercano di informare l'opinione pubblica circa i tentativi di ingegnerizzare il nostro ambiente naturale. Al momento, la discussione gioca a favore di chi oggi finanzia e sponsorizza le tecniche di geoingegneria, sposando alla perfezione la narrazione emergenziale che negli ultimi anni, con vari livelli e picchi d'intensità, ha riguardato la questione climatica. La geoingegneria è dapprima stata idealizzata per rispondere agli interessi coloniali e di potenza: in altre parole, è stata pensata per soddisfare le esigenze degli imperi e del sistema capitalistico dominante. Dopodiché, c'è chi ha pensato che l'ambiente potesse essere scientificamente modificato per interessi e scopi specifici, tanto in ambito civile quanto in quello militare. Con il passare dei decenni è poi sorta l'idea di poter modificare l'ambiente per sopperire alle problematiche di carattere ecologico e di quel che è stato definito dapprima “riscaldamento globale” e poi “cambiamenti climatici”. Nel frattempo, la geoingegneria è stata prima sperimentata e poi utilizzata in ambito militare, trovando la sua prima – e, per

quanto ne sappiamo, unica – applicazione durante la guerra del Vietnam, quando gli Stati Uniti diedero vita alla “Operazione braccio di ferro”. Quando i dettagli di quest'ultima divennero di pubblico dominio, la comunità internazionale iniziò a discutere delle implicazioni dell'utilizzo di tecniche di geoingegneria in ambito militare. Stati Uniti e URSS trovarono quindi un accordo per proibire l'utilizzo di tecniche di geoingegneria per scopi militari, che trovò il suo compimento nella *Convenzione sul divieto dell'uso di tecniche di modifica dell'ambiente a fini militari o ad ogni altro scopo ostile*, adottata in seno alle Nazioni Unite nel 1976 e tutt'ora in vigore.

## Atlantropa: quando la geoingegneria iniziò a essere immaginata

Quello di geoingegneria è un “termine ombrello”, ma non vi è unanimità nel definire cosa ci stia dentro e cosa no. In linea generale, può essere definito tale ogni campo in cui vi è un'applicazione dell'ingegneria ai sistemi biologici ed ecologici del pianeta: aria, terra, acqua. Molte delle pratiche di geoingegneria conosciute sono di dominio pubblico e largamente utilizzate da molto tempo. L'idea di ingegnerizzare il nostro ambiente naturale risale infatti ai primi anni del XX secolo, periodo di grande fiducia nel progresso tecnico e tecnologico e di interessi imperialistici. In questo contesto fu presentato, nel 1928, Atlantropa (o Panropa), il progetto dell'architetto tedesco Herman Sörgel: esso prevedeva la costruzione di una serie di dighe (una su tutte quella di Gibilterra) che avrebbero alimentato una rete di produzione di energia idroelettrica e reso accessibili terre da destinare



Rappresentazione grafica di possibili effetti del progetto Atlantropa

all'uso umano. Secondo tale progetto, infatti, il livello del Mar Mediterraneo sarebbe dovuto scendere di circa 100 metri, facendo emergere nuove terre da poter abitare e sfruttare secondo le necessità umane – o, per meglio dire, secondi gli interessi degli Stati-nazione. Sörgel prevedeva anche la costruzione di dighe giganti sul fiume Congo e di ampliare la superficie del lago Ciad per mitigare il clima africano e irrigare il Sahara. «L'Africa sarebbe diventata il serbatoio agricolo di Atlantropa, mentre l'Europa avrebbe governato l'intero sistema industriale e questo grazie all'utilizzo del Mediterraneo come enorme sistema di produzione di energia, all'interno di una unica realtà politica», spiega<sup>1</sup> il professor Roberto Masiero, docente presso l'Università di Venezia. L'obiettivo finale era però anche quello di dare forma a una sorta di supercontinente tra Europa e Africa, con la seconda che avrebbe avuto la funzione di periferia della prima per la produzione di cibo necessaria a sfamare la popolazione europea in rapida crescita. «L'ideologia che alimentava questa progettualità – prosegue Masiero – era il dominio della tecnica, l'accentramento burocratizzato del momento decisionale, cioè politico, l'idolatria della innovazione e dello sviluppo che si affidava all'inevitabile progresso e ad un futuro visto come il migliore dei mondi possibili, il ruolo centrale del demiurgo, cioè del decisore assoluto. Poco importava se tutto ciò si risolveva in sistemi politici totalitari». Tralasciando le questioni in merito alla fattibilità tecnica del progetto proposto da Sörgel, per il quale venne anche costituito l'Istituto Atlantropa, i principali quesiti riguardavano le conseguenze socio-ecologiche. Il progetto fu considerato “superato” solamente nel 1958: proprio in quegli anni, in pieno clima di Guerra Fredda, l'ingegneria applicata alla natura si concentrò nello studio della modificazione climatica, con gli scienziati di Stati Uniti e Unione Sovietica che si adoperarono in ricerche e studi finalizzati al controllo del clima come parte della strategia militare dei propri Paesi.

## Idee per ingegnerizzare l'ambiente e il clima

Sempre in quegli anni si iniziò a parlare di come le azioni umane influissero sui processi naturali del nostro pianeta e di come queste fossero la causa dell'inizio di ciò che sarebbe poi divenuto famoso come *global warming* (riscaldamento globale) e che oggi viene invece espresso con la dicitura *climate change* (cambiamento climatico). Già nel 1960, i ricercatori statunitensi suggerirono l'utilizzo di miliardi di oggetti bianchi galleggianti grandi come palline da golf da immettere negli oceani col fine di riflettere la luce solare e mitigarne dunque l'impatto. Nel 1977, Cesare Marchetti, dell'Istituto internazionale per l'analisi dei sistemi applicati, con sede in Austria, discusse i modi per catturare tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> dell'Europa e iniettarle nelle correnti dell'Oceano Atlantico che si stavano inabissando<sup>2</sup>. Nel 1982, lo scienziato sovietico Mikhail Budyko propose di riempire la stratosfera con particelle di solfato per riflettere la luce solare nello spazio. Nel 1995, invece, i ricercatori britannici condussero i primi esperimenti per testare l'idea di fertilizzare gli oceani con sostanze a base di ferro, per stimolare la crescita di alghe che potessero assorbire CO<sub>2</sub><sup>3</sup>. Tra le tante idee immaginifiche, due anni dopo, Edward Teller, inventore della bomba all'idrogeno, propose di mettere specchi giganti nello spazio per riflettere la luce solare<sup>4</sup>.

## Geoingegneria e operazioni militari

Nel 1945 vi fu una svolta nell'ambito delle tecniche di modificazione meteorologica e della geoingegneria: il matematico John von Neumann discusse infatti la possibilità di modificare deliberatamente il meteo come strumento di guerra. La modificazione meteorologica sarebbe servita per distruggere i raccolti agricoli sovietici, causare la fame di massa,



Edward Teller, inventore della bomba all'idrogeno, teorizzò di mettere specchi giganti nello spazio per riflettere la luce solare

danneggiare la loro economia e incitare il dissenso interno. Non è dato sapere se questo sia stato fatto o meno. Quello che è certo, invece, è che gli Stati Uniti fecero un vasto utilizzo di queste tecniche tra il 1967 e il 1972, durante la Guerra del Vietnam. In quel periodo vide infatti la luce l'“Operazione Popeye”, che prevedeva l'inseminazione delle nuvole in Vietnam, Laos e Cambogia. L'azione di modificazione meteorologica è avvenuta durante la stagione secca, quando normalmente era più facile per i nordvietnamiti spostare uomini e materiale, con lo scopo di causare forti piogge. «L'obiettivo del programma è quello di produrre una quantità sufficiente di piogge lungo queste linee di comunicazione per interdire o almeno interferire con il traffico di camion tra il Vietnam del Nord e del Sud. Recentemente, tecniche di inseminazione delle nuvole migliorate sarebbero applicate in modo sostenuto, in uno sforzo non pubblicizzato per indurre piogge continue attraverso i mesi della normale stagione secca»<sup>5</sup>, veniva scritto dal Dipartimento di Stato USA. Nel memorandum del 13 gennaio 1967 veniva anche detto: «Il Dipartimento della Difesa propone di condurre il progetto in condizioni di massima segretezza, perché la pubblicità creerebbe vulnerabilità alle accuse comuniste agli Stati Uniti di manipolazione delle condizioni atmosferiche, nelle zone colpite o altrove». Nel 1971, catastrofiche inondazioni si verificarono in tutto il Nord del Vietnam.

La divulgazione dell'Operazione portò molti a rendersi conto di quale livello inquietante avesse raggiunto la possibilità di una “guerra totale”. Il problema della

modificazione artificiale dell'ambiente per scopi militari o altri scopi ostili venne quindi portato all'ordine del giorno della discussione internazionale. Nel luglio 1974, gli Stati Uniti e l'URSS decisero di tenere discussioni bilaterali sulle misure necessarie per superare il pericolo dell'uso di tecniche di modificazione ambientale per scopi militari. In quest'ambito vi furono tre successivi cicli di discussioni tra il 1974 e il 1975. Nell'agosto 1975, nel corso della Conferenza del Comitato per il disarmo (CCD), Stati Uniti e URSS presentarono progetti identici per la stesura di una convenzione, riuscendo a giungere a un'intesa su quattro articoli. In tal modo, nel 1976 vide la luce la *Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques* (ENMOD o *Convenzione sul divieto dell'uso di tecniche di modifica dell'ambiente a fini militari o ad ogni altro scopo ostile*)<sup>6</sup>, approvata con la risoluzione 31/72 dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite il 10 dicembre di quell'anno, con 96 voti favorevoli, 8 contrari e 30 astensioni. La Convenzione fu firmata da 48 Stati (di cui 16 tuttavia non la ratificarono) e oggi conta 78 Stati che ne fanno parte. All'articolo 1 si può leggere di come gli Stati parte si impegnino a non fare uso militare o in qualsiasi altro uso ostile di tecniche di modificazione ambientale che abbiano effetti diffusi, duraturi o gravi come mezzo di distruzione, danno o lesione per un altro Stato parte. È interessante notare che gli sforzi per chiarire o eliminare le clausole restrittive «aventi effetti diffusi, duraturi o gravi» (note come “troika”) sono stati compiuti già durante i negoziati iniziali, nonché durante le conferenze di revisione, tuttavia non fu possibile raggiungere un consenso su tale rimozione. Come descritto nell'articolo 2 della Convenzione, per tecnica di modificazione ambientale si intende qualsiasi tecnica per modificare, attraverso la manipolazione deliberata di processi naturali, la dinamica, la composizione o la struttura della terra, compresi il biota, la litosfera, l'idrosfera e l'atmosfera, o dello spazio esterno. ■

#### Note e riferimenti bibliografici

1. R. Masiero, *Atlantropa. Progettare il mondo: geopolitiche e imperi*, [www.egramma.it](http://www.egramma.it), novembre 2019.
2. C. Marchetti, *On geoengineering and the CO<sub>2</sub> problem*, in *Climatic Change*, vol. 1, pp. 59–68, [link.springer.com](http://link.springer.com), marzo 1977.
3. F. Pearce, *Extra iron makes blue deserts bloom*, [www.newscientist.com](http://www.newscientist.com), 12 ottobre 1996.
4. *New Scientist*, *A mirror to cool the world*, [www.newscientist.com](http://www.newscientist.com), 27 marzo 2004.
5. Dipartimento di Stato USA, 274. *Memorandum From the Deputy Under Secretary of State for Political Affairs (Kohler) to Secretary of State Rusk*, [history.state.gov](http://history.state.gov), 13 gennaio 1967.
6. United Nations, *Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques (ENMOD)*, [disarmament.unoda.org](http://disarmament.unoda.org).

# LA GEOINGEGNERIA OGGI

di Michele Manfrin



Così come scrive l'Università di Oxford, «la geoeingegneria è l'intervento deliberato su larga scala nei sistemi naturali della Terra». Convenzionalmente, la geoeingegneria è suddivisa in due grandi categorie: la prima è riferita al carbonio e al suo ciclo, mentre l'altra all'irradiazione solare. Esistono poi anche tecniche di modificazione meteorologica, dette di *cloud seeding*, ovvero di iniezione delle nuvole, che però hanno campi di intervento e azione prettamente locale – le conseguenze di un utilizzo massiccio su scala globale, come gli effetti sulle zone adiacenti al luogo in cui viene effettuata la modificazione meteorologica, sono sconosciute. Gruppi di ricerca pubblici e privati sono da anni al lavoro per sviluppare differenti tecniche e tecnologie col fine di eliminare i gas serra, in particolar modo la CO<sub>2</sub>, ritenuta la maggior responsabile dei “cambiamenti climatici”. I progetti ufficiali (o le sperimentazioni) di modificazione dell'ambiente e del clima tramite la geoeingegneria sono estremamente diffusi in Nord America ed Europa, ma se ne contano a decine anche in Sud America, in Africa, in Asia e in Oceania. Insomma, tutto il mondo è alle prese con la corsa alla geoeingegneria, la quale

promette di poter risolvere i problemi causati dall'alterazione umana degli ecosistemi e dei modelli climatici. Ovviamente, sono molti i critici che mettono in guardia dalla modificazione di sistemi altamente complessi, in quanto le conseguenze di tali azioni sono sconosciute e imprevedibili.

## Rimozione dei gas serra

La categoria della geoeingegneria che si riferisce alla *rimozione dei gas serra* (GGR) include una serie di tecnologie che mirano a rimuovere tali gas (conosciuti anche con la sigla GHG) dall'atmosfera. Gli approcci tecnici variano ampiamente e comprendono la rimozione dei gas tanto dal ciclo di produzione quanto dall'ambiente stesso.

In Europa, nell'ambito del *Net-Zero Industry Act*, proposto nel 2023 e adottato nel 2024, vi è un controverso piano per costruire una rete per catturare e immagazzinare il carbonio. Esso fissa l'obiettivo di creare 50 milioni di tonnellate di capacità annuale di stoccaggio del carbonio, ordinando alle compagnie petrolifere e del gas di

contribuire a finanziare lo sforzo. In particolare, la legislazione finale include una sanzione per le aziende di combustibili fossili che non si adeguano. Il controverso piano dell'UE vuole dunque puntare su alcuni dei maggiori emettitori al mondo per investire massicciamente in nuove tecnologie di cattura e stoccaggio (anche per millenni) del carbonio, come parte della sua strategia per raggiungere la neutralità climatica. Secondo l'UE, giganti come Shell ed ExxonMobil hanno i soldi, il know-how ingegneristico e le strutture necessarie per far crescere rapidamente un'industria che al momento si trova in stato embrionale e non è ancora redditizia, ma che presto lo potrebbe diventare – col rischio che si venga a creare un monopolio-oligopolio anche su di essa, come accaduto con l'industria petrolifera. Per quanto in linea di principio sia corretto che chi ha inquinato ripulisca l'ambiente, questo processo potrà ora essere trasformato in un nuovo business: le aziende che hanno racimolato miliardi inquinando potranno guadagnarne altrettanti dalla cattura delle emissioni, una volta che le tecnologie geoeingegneristiche su larga scala saranno implementate e che il mercato della cattura del carbonio sarà esploso<sup>1</sup>.

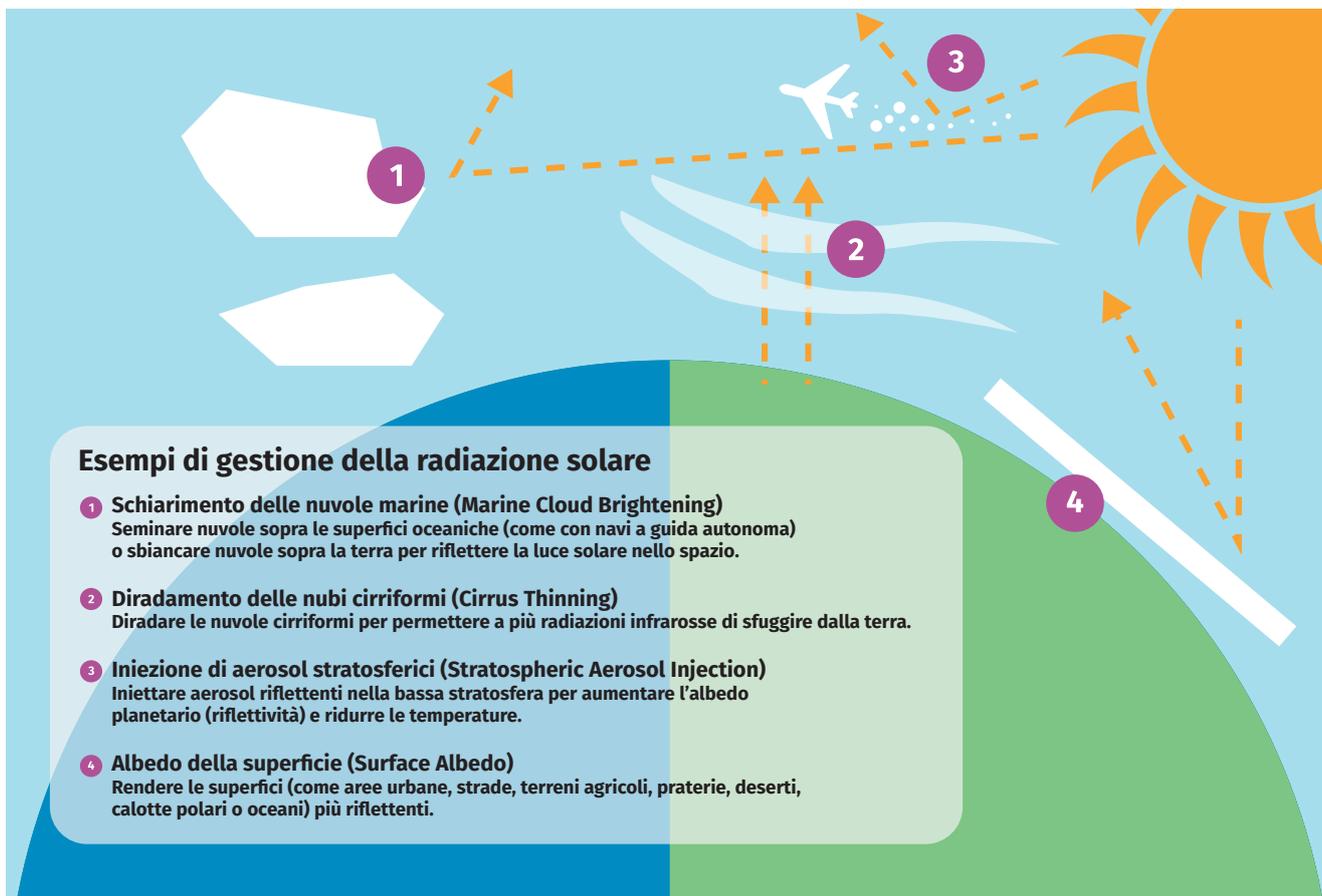
Tra le tecniche afferenti alla categoria della rimozione dei gas serra, vi sono la *risalita artificiale* e la *fertilizzazione degli oceani*, che permettono di intrappolare i gas serra negli ambienti marini. La risalita artificiale intende rimuovere i gas serra attraverso il trasporto artificiale dei nutrienti presenti nelle profondità dell'oceano fino alla superficie per stimolare la crescita di fitoplancton. I ricercatori ipotizzano che nuovo fitoplancton assorbirà CO<sub>2</sub> atmosferica e depositerà la biomassa di fitoplancton sul fondo dell'oceano. Chi mette in guardia dalle conseguenze di tale tecnica fa notare che, ironia della sorte, questo metodo potrebbe anche far risalire in superficie carbonio già immagazzinato sui fondali oceanici. Questa specifica attività di ricerca geoeingegneristica, con sperimentazioni in mare aperto, è stata condotta e finanziata da istituzioni pubbliche di Cina, Unione Europea, Giappone, Norvegia e Stati Uniti. Un famigerato sostenitore della fertilizzazione degli oceani è Russ George, il quale ha creato Planktos Inc., con sede negli Stati Uniti, con cui nel 2002 ha condotto un esperimento al largo delle coste delle Hawaii. Uno dei più grandi esperimenti di fertilizzazione degli oceani è stato LOHAFEX, avvenuto nel 2009, con la co-partecipazione del governo tedesco e di quello indiano, in cui vennero scaricate 20 tonnellate di solfato ferroso su una superficie di 300 chilometri quadrati di mare aperto al di fuori delle acque territoriali argentine.

L'*invecchiamento migliorato* è una tecnica di geoeingegneria che prevede lo spargimento nell'ambiente, marino e terrestre, di grandi quantità

di rocce polverizzate con grande presenza di ferro e acciaio, così come di magnesio e calcio, per accelerare i processi biochimici di assorbimento della CO<sub>2</sub>. L'interesse per questa tecnica si è diffuso soprattutto in Gran Bretagna. Qui ha visto la luce un'iniziativa dell'Oxford Geoengineering Program, dell'Università di Oxford, sotto la direzione di Timothy James Ronald Kruger, attraverso un programma sperimentale (GGREW) che ha operato in Australia e Israele. Kruger e la sua compagnia Cquestrate Limited (attiva dal 2008 al 2014) hanno ottenuto finanziamenti dall'azienda del settore petrolifero Shell. Nel 2021, Kruger è stato co-fondatore di Carbon GAP LTD, azienda attiva nelle tecniche di rimozione del carbonio che intende fare dell'Europa un leader mondiale del settore. Kruger è anche co-fondatore di due start-up, Origen e DryGo, ugualmente attive nel settore della rimozione del carbonio, con tecnologie brevettate per lo scopo.

La *cattura e lo stoccaggio del carbonio* mira a estrarre la CO<sub>2</sub> emessa dai processi industriali per comprimerla e iniettarla in formazioni geologiche per lo stoccaggio a lungo termine. L'*uso successivo* mira invece a utilizzare la CO<sub>2</sub> estratta per la produzione di carburanti così come per prodotti a base plastica o per i materiali da costruzione, in maniera da immagazzinarla temporaneamente all'interno di un nuovo ciclo. La *cattura diretta dell'aria* ha il medesimo scopo della precedente tecnica di geoeingegneria, salvo per il fatto che la CO<sub>2</sub> viene estratta direttamente dall'aria, anziché dai processi di produzione industriale. La maggior parte di queste attività sono svolte in Nord America, Europa, Cina, India e Giappone, e ricevono finanziamenti da fondazioni, istituzioni pubbliche e da industrie ad alta intensità energetica come British Airways, Chevron, ExxonMobil, Gruppo HuaNeng, Indo Guld Fertilizer Co.

Quando elevate quantità di biomassa (come rifiuti forestali e agricoli) vengono sottoposti a temperature elevate (fino a 900 °C) e in assenza di ossigeno, si ottiene un processo detto pirolisi, che produce una sostanza solida chiamata biochar. Quest'ultimo, ricco di carbonio, può essere immagazzinato nel suolo e mescolato con il terreno affinché sia assorbito dalle piante. Il biochar viene impiegato anche come fertilizzante, quindi come soluzione al degrado del suolo e alle basse rese delle colture. Le interazioni della sostanza con le diverse condizioni del suolo sono tuttavia lungi dall'essere pienamente comprese. La composizione chimica, le proprietà e la durata del biochar non sono coerenti, perché dipendono da un gran numero di variabili quali il tipo di biomassa con cui viene prodotto, la temperatura e il tempo di pirolisi, nonché le proprietà del suolo, le condizioni climatiche e i tassi di applicazione. Lo sviluppo di biochar ha ricevuto il sostegno finanziario di aziende come Shell, ExxonMobil, Chevron, Cenovus



e Conoco Philipps, nonché di fondazioni come la Bill and Melinda Gates Foundation. Nonostante cospicui finanziamenti, il biochar non è ancora stato sviluppato e prodotto su larga scala, anche se sta ottenendo sempre più visibilità e fondi pubblici – adesso attratti anche dal lavoro dell’International Biochar Initiative (IBI), con sede negli Stati Uniti.

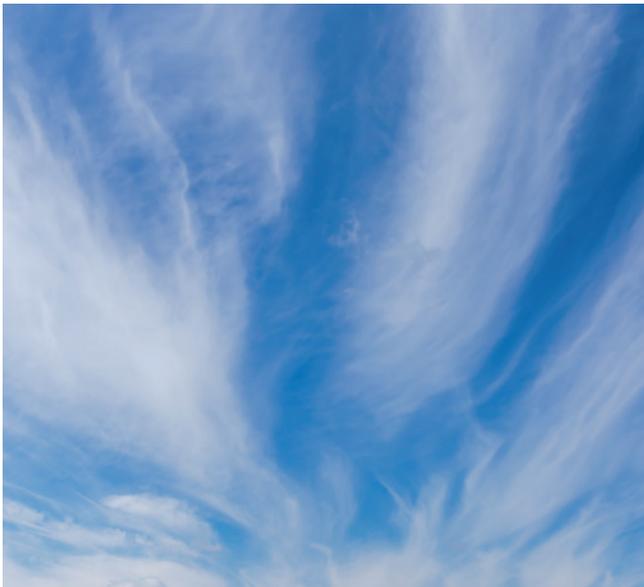
## Gestione della radiazione solare

La *gestione della radiazione solare* (SRM) è la categoria che comprende tecniche e tecnologie di geoeingegneria che mirano a riflettere la radiazione solare o termica nello spazio, ovvero mitigare e ridurre l’attività del sole sulla terra. Si tratta dell’approccio geoeingegneristico più criticato di tutti, in quanto prevede di intervenire drasticamente sul rapporto tra il sole e l’ambiente terrestre senza minimamente intervenire sui processi umani determinanti per il “cambiamento climatico”. In aggiunta a ciò, vi è il fatto che non si conoscono le conseguenze di tale applicazione, tanto nel caso in cui la sua applicazione sia effettuata in maniera coordinata quanto nell’ipotesi di un utilizzo disomogeneo.

L’*iniezione di aerosol stratosferico* (SAI) prevede di spruzzare grandi quantità di particelle riflettenti nell’atmosfera alta e nella stratosfera col fine di raffreddare il pianeta riflettendo indietro la luce

del sole. Anidride solforosa, sale in polvere o calcio carbonato sono sostanze utilizzate in questo tipo di tecnica geoeingegneristica che si avvale, per lo spargimento, di appositi cannoni e aerei. Questa tecnica cerca di imitare la polvere ricca di zolfo che si sprigiona a seguito di eruzioni vulcaniche. Al tal fine, per mantenere il livello necessario di strato polveroso, è necessaria una continua irrorazione nell’aria di tali sostanze riflettenti. Il SAI è molto studiato in Occidente, specie negli Stati Uniti, con l’Università di Harvard in prima fila tra le istituzioni universitarie e il governo federale come maggior finanziatore pubblico fin dal 2008, mentre il resto dei finanziamenti proviene in gran parte da aziende del settore dei combustibili fossili.

Lo *schiarimento delle nuvole marine* (MCB) e l’*assottigliamento dei cirri* (CTT) sono due tecniche di geoeingegneria che intendono influenzare l’equilibrio delle radiazioni terrestri attraverso cambiamenti nella copertura nuvolosa. La MCB ha lo scopo di rendere le nuvole più riflettenti, in modo da far rimbalzare i raggi solari. Ciò avverrebbe a seguito di aerosol delle nuvole con particelle che fungano da aggregatore di gocce di acqua presenti in nubi più piccole, così come dall’azione di navi che spruzzerebbero acqua salata in aria. La CTT, invece, mira alla modificazione dei cirri – particolare formazione nuvolosa – con lo scopo di assottigliarli ed espanderli così da riflettere la luce, oppure a dissolverli per far uscire il calore verso



Nubi cirriformi, il cui diradamento permetterebbe alle radiazioni infrarosse di “sfuggire” dalla superficie terrestre

lo spazio esterno. Alcuni ricercatori fanno notare che un trattamento sbagliato delle nuvole potrebbe generare un effetto contrario a quello voluto, ovvero intrappolare, o assorbire, maggior calore.

Proprio di recente, un esperimento di schiarimento delle nuvole marine è stato condotto in California, ad Alameda, a San Francisco. *Coastal Atmospheric Aerosol Research and Engagement*, avviato nell'aprile scorso<sup>2</sup>, aveva lo scopo di rendere le nuvole più riflettenti, in modo da diminuire artificialmente il calore prodotto dal sole. L'esperimento è stato tuttavia bloccato in via cautelativa dalle autorità locali lo scorso maggio, per via delle sconosciute conseguenze sulla salute dei cittadini<sup>3</sup>. Anche gli scienziati dello Scripps Institution of Oceanography di San Diego, hanno chiesto di regolamentare l'ingegneria climatica e, in particolare, di fermare l'uso dello schiarimento delle nuvole marine. Gli studiosi riferiscono infatti che tali attività possono avere conseguenze negative in altre aree del mondo<sup>4</sup>. A ciò si aggiungono le considerazioni di Chukwumerije Okereke, scienziato del Center for Climate Change and Develo<sup>5</sup>ment in Nigeria. In un saggio pubblicato sul *New York Times*<sup>5</sup>, questi sostiene che l'Africa sia trattata come un laboratorio sperimentale occidentale e che il lavoro portato avanti da diverse ONG e no-profit nel campo della geoingegneria possa, in realtà, produrre conseguenze negative per il continente.

Secondo Geoengineering Monitor, organizzazione canadese attiva nel monitoraggio delle attività geoingegneristiche che vengono fatte in giro per il mondo, dal 2000 a oggi, 1985 sperimentazioni di tecnologie e tecniche di geoingegneria sono state condotte, concluse o sono ancora in corso: 1058 di riduzione della CO<sub>2</sub>; 33 di gestione della radiazione solare; 327 di modificazione meteorologica; 567

sono classificati sotto la voce “altro”, solitamente collegati a progetti di immagazzinamento di CO<sub>2</sub>. Questi sono, ovviamente, tutti i progetti ufficiali e pubblici, mentre niente è dato sapere su eventuali programmi di ricerca e applicazioni militari. Secondo l'organizzazione canadese, in Italia si contano 25 progetti di geoingegneria, tra quelli conclusi e quelli in corso. Sono le Università, così come le aziende e i centri di ricerca privati – spesso anche in collaborazione – a portare avanti, da anni, studi e sperimentazioni nel settore della geoingegneria, ricevendo finanziamenti pubblici come privati.

Nel 2022 è nata Solar Geoengineering Non-Use Agreement, un'organizzazione che ha lo scopo di impegnare i governi nazionali e le Nazioni Unite a redigere e firmare un accordo che preveda il divieto di sviluppo e di utilizzo di tecnologia atta a interferire con la luce solare. Centinaia di accademici provenienti da tutto il mondo hanno sottoscritto una lettera aperta, che esorta a non avventurarsi in campi troppo delicati, complessi e vasti, dato che «i rischi della geoingegneria solare sono poco compresi e non possono mai essere completamente conosciuti. Gli impatti varieranno tra le regioni e ci sono incertezze sugli effetti sui modelli meteorologici, sull'agricoltura e sulla fornitura di beni di prima necessità di cibo e acqua». I firmatari chiedono «un'azione politica immediata da parte dei governi, delle Nazioni Unite e di altri attori per impedire la normalizzazione della geoingegneria solare come opzione di politica climatica. I governi e le Nazioni Unite devono affermare un controllo politico efficace e limitare lo sviluppo delle tecnologie di geoingegneria solare su scala planetaria. In particolare, chiediamo un accordo internazionale sul divieto della geoingegneria solare»<sup>6</sup>. ■

#### Note e riferimenti bibliografici

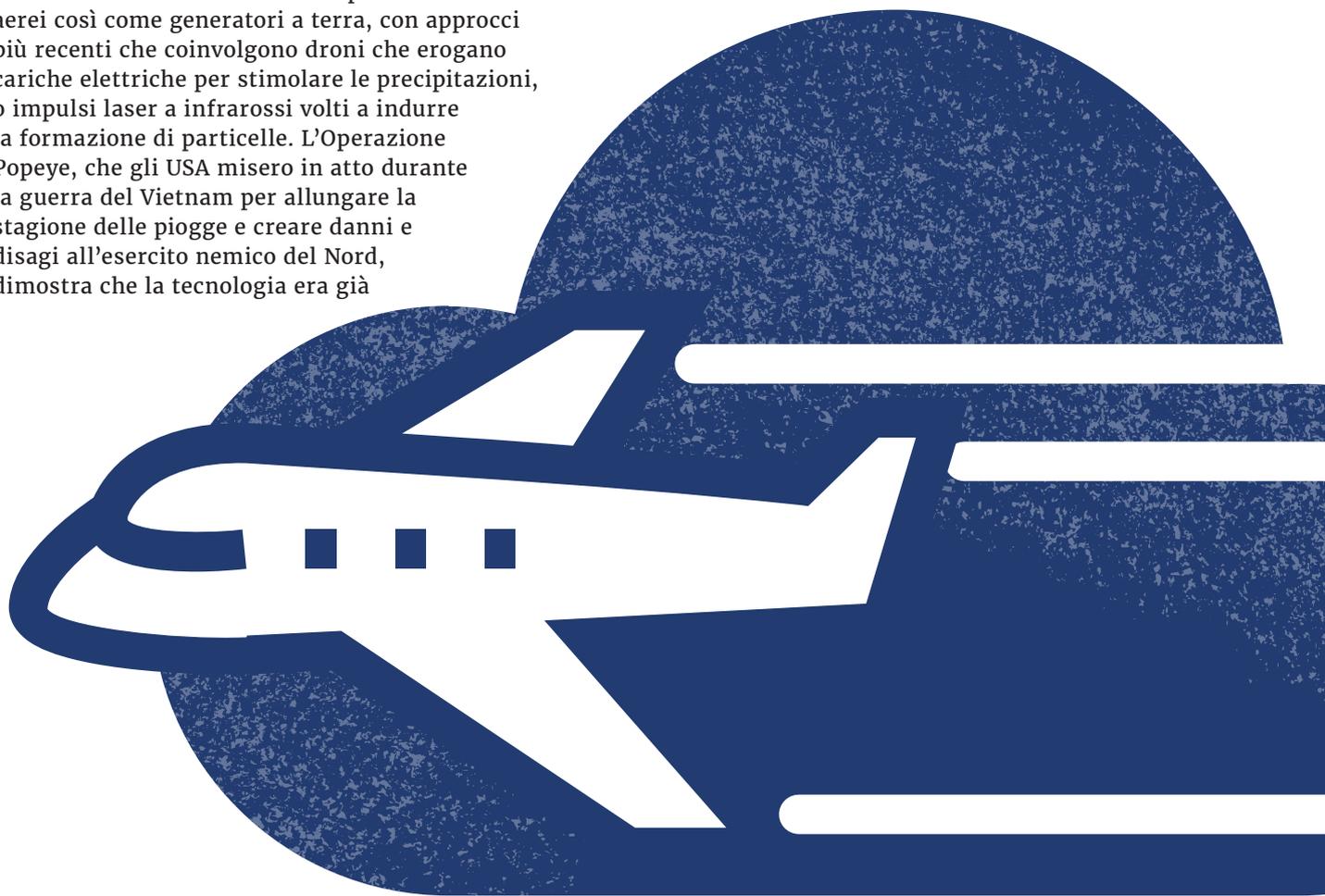
1. M. Manfrin, *Stoccaggio di CO<sub>2</sub>: come le aziende fossili “ripuliscono” l'ambiente riguadagnandoci sopra*, [www.lindipendente.online](http://www.lindipendente.online), 15 febbraio 2024.
2. M. Manfrin, *A San Francisco è stato lanciato un esperimento di geoingegneria solare*, [www.lindipendente.online](http://www.lindipendente.online), 8 aprile 2024.
3. M. Manfrin, *La California sospende un progetto di geoingegneria per possibili effetti sulla salute*, [www.lindipendente.online](http://www.lindipendente.online), 15 maggio 2024.
4. J.S. Wan, C.C.J. Chen, S. Tilmes, *Diminished efficacy of regional marine cloud brightening in a warmer world*, in *Nature Climate Change*, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net), 21 giugno 2024.
5. C. Okereke, *My continent is not your giant climate laboratory*, [www.nytimes.com](http://www.nytimes.com), 18 aprile 2023.
6. F. Biermann et al., *We Call for an International Non-Use Agreement on Solar Geoengineering*, [www.solargeoeng.com](http://www.solargeoeng.com), 2021.

# INSEMINAZIONE ARTIFICIALE DELLE NUVOLE: UNA REALTÀ TACIUTA

di Michele Manfrin

**IL** *cloud seeding*, ovvero l'inseminazione delle nuvole, è una tecnica geoingegneristica che punta a una modifica meteorologica. Tale modifica può essere voluta per aumentare la quantità o il tipo di precipitazioni, mitigare la grandine o disperdere la nebbia. L'inseminazione delle nuvole viene effettuata disperdendo nell'aria sostanze che fungono da condensatori delle nuvole o dei nuclei di ghiaccio. Gli agenti comuni utilizzati in questo tipo di geoingegneria includono ioduro d'argento, ioduro di potassio e ghiaccio secco, con materiali igroscopici, come il sale da cucina, che stanno guadagnando popolarità grazie alla loro capacità di attirare l'umidità. Le tecniche variano dalla semina statica, che incoraggia la formazione di particelle di ghiaccio nelle nuvole super raffreddate per aumentare le precipitazioni, alla semina dinamica, progettata per migliorare lo sviluppo delle nubi convettive attraverso il rilascio di calore latente. I metodi di dispersione includono aerei così come generatori a terra, con approcci più recenti che coinvolgono droni che erogano cariche elettriche per stimolare le precipitazioni, o impulsi laser a infrarossi volti a indurre la formazione di particelle. L'Operazione Popeye, che gli USA misero in atto durante la guerra del Vietnam per allungare la stagione delle piogge e creare danni e disagi all'esercito nemico del Nord, dimostra che la tecnologia era già

sviluppata e utilizzata a fini militari negli anni Settanta. Proprio a partire da quegli anni, sempre più Paesi si sono interessati allo sviluppo e all'utilizzo delle tecnologie di *cloud seeding*. Oggi vengono ormai venduti servizi commerciali da parte di aziende che si occupano di inseminare le nuvole, tanto da terra, utilizzando appositi cannoni, quanto dal cielo, con l'utilizzo di areoplani o droni, per potenziare o depotenziare la possibilità e la capacità di formazioni nuvolose esistenti di produrre pioggia. Gli Stati che stanno continuando le sperimentazioni sono moltissimi e numerosi sono quelli che già ne fanno un largo utilizzo. Gli Emirati Arabi Uniti sono un Paese all'avanguardia nell'utilizzo del *cloud seeding*, con agenzie preposte al monitoraggio e all'utilizzo delle tecniche per l'inseminazione delle nuvole e programmi statali che vi lavorano quotidianamente.



## Che cos'è il *cloud seeding*?

Nel 1891, Louis Gathmann suggerì di sparare anidride carbonica liquida nelle nuvole per fare piovere. Durante gli anni Trenta, con la teorizzazione del processo Wegener-Bergeron-Findeisen (dal nome degli scienziati che lo misero in atto, Alfred Wegener, Tor Bergeron e Walter Findeisen), altrimenti noto come “processo freddo-pioggia”, si capì che la causa della pioggia sono le goccioline d'acqua super raffreddate presenti nelle nuvole. Durante la ricerca sulla formazione di ghiaccio sugli aerei, Vincent Schaefer e Irving Langmuir, impiegati presso la General Electric, hanno confermato questa teoria. Seguendo le idee che i due avevano generato durante la scalata del Monte Washington, nel New Hampshire, Schaefer creò un modo per sperimentare l'inseminazione delle nuvole, utilizzando un'unità di congelamento profondo di potenziali agenti che stimolassero la crescita dei cristalli di ghiaccio, ovvero sale da cucina, talco, terra, polvere e vari agenti chimici. Il 14 luglio 1946 lo scienziato condusse alcuni esperimenti presso il laboratorio di ricerca Schenectady della General Electric, scoprendo il principio del *cloud seeding*. Da allora, diverse organizzazioni e istituzioni, sia pubbliche che private, hanno portato avanti sperimentazioni proprio sulla scia delle scoperte di Schaefer.

Le nuvole sono costituite da minuscole goccioline d'acqua o cristalli di ghiaccio, che si formano quando il vapore acqueo si raffredda e si condensa attorno a una particella di polvere o sale che galleggia nell'atmosfera. Senza queste particelle, note come nuclei di condensa o di ghiaccio, non possono formarsi gocce di pioggia o fiocchi di neve e le precipitazioni non si verificano. L'inseminazione delle nuvole è una tecnica di modificazione meteorologica che migliora la capacità di una nuvola di produrre pioggia o neve introducendo minuscoli nuclei di ghiaccio in alcuni tipi di nuvole che si trovano a una temperatura inferiore allo zero termico. Questi nuclei forniscono una base per la formazione dei fiocchi di neve. Dopo l'inseminazione delle nuvole, le gocce d'acqua o i fiocchi di neve appena formati crescono e cadono rapidamente dalle nuvole alla superficie della Terra<sup>1</sup>. Il *cloud seeding* rientra, dunque, tra le tecniche di geoingegneria riferite alla modificazione meteorologica (*weather modification*, WM). Molti ricercatori ritengono che gli impatti delle tecniche di WM siano locali (o regionali) e non duraturi, motivo per il quale queste non costituirebbero a pieno titolo una forma di geoingegneria. Tali tecniche, tuttavia, sono importanti precorritrici delle odierne tecniche di geoingegneria, in quanto vi sono, ad esempio, sovrapposizioni con le tecniche di gestione della radiazione solare. A oggi, non sappiamo quali siano le ripercussioni globali dell'impiego massiccio di tali tecniche, né

tantomeno quali possano essere quelli prodotti nelle regioni adiacenti a quelle dove si applicano le tecniche di *cloud seeding* – le quali incidono sul naturale andamento dei modelli meteorologici.

## Chi utilizza il *cloud seeding*?

Lo scorso giugno, su *L'Indipendente*, abbiamo dato notizia di come, in Italia, il Comitato Nazionale Moratoria Geoingegneria<sup>2</sup> abbia depositato più di 10 mila firme per una petizione che vorrebbe fosse introdotto il divieto di qualsiasi utilizzo (tanto civile quanto militare) di qualunque tecnica di geoingegneria, citando nello specifico l'inseminazione delle nuvole e il Solar Radiation Management (SRM, tecnica che mira a diminuire la radiazione solare, e i suoi effetti, sulla Terra). Il Comitato ha anche indirizzato una lettera al Parlamento e al governo affinché venga calendarizzata al più presto la discussione in merito all'utilizzo di tecniche di geoingegneria e la conseguente moratoria di queste. Il documento prende le mosse da due risoluzioni ONU, una del 2010 e l'altra del 2016, nonché da recenti legislazioni statunitensi, sia in ambito federale che statale, così come di altri Paesi. Per quanto concerne l'inseminazione delle nuvole, sono molti gli Stati che oggi la utilizzano in maniera palese, disponendo anche di agenzie appositamente create per compiere tali operazioni. Tuttavia, in Italia non si ha notizia di progetti attivi in questo senso. Stati Uniti, Israele, Cina, Russia, India, Francia, Spagna, Germania, Austria, Messico, Arabia Saudita, Sudafrica, Thailandia e Emirati Arabi Uniti sono solo alcuni degli Stati che hanno in qualche modo sperimentato o utilizzato le tecniche di *cloud seeding*.

## Il caso Emirati Arabi Uniti: il *cloud seeding* come pratica quotidiana

Negli ultimi anni, gli Emirati Arabi Uniti (EAU) i progetti di *cloud seeding* si sono moltiplicati, rendendo l'emirato uno dei Paesi dove gli esperimenti di modifica del meteo hanno raggiunto la fase più avanzata. Già oggi abbiamo notizia di veri e propri diluvi certamente causati dall'inseminazione delle nuvole: è accaduto nel marzo 2024, quando le stesse autorità nazionali ammisero che le piogge torrenziali abbattutesi sulla capitale Dubai erano state provocate artificialmente<sup>3</sup>. Negli EAU i voli di inseminazione delle nuvole vengono effettuati durante tutto l'anno, quando vengono rilevate nuvole seminabili. Negli ultimi 13 anni, nel Paese sono stati condotti migliaia di voli per missioni di inseminazione delle nuvole. La Divisione di Inseminazione delle Nuvole (NCM) utilizza un sofisticato radar di sorveglianza meteorologica, responsabile del monitoraggio della



Un Cessna 410 equipaggiato per il *cloud seeding* a Corryong, Victoria, Australia, 1966

pressione atmosferica e delle formazioni nuvolose 24 ore su 24. «I feed delle telecamere in diretta da 26 località degli Emirati Arabi Uniti vengono visualizzati, 24 ore su 24, su una parete della struttura NCM di Abu Dhabi. Quando le nuvole iniziano a formarsi, un aereo speciale le circonda per analizzarne la formazione e il contenuto di umidità. Una volta che i piloti confermano che sono state trovate nubi favorevoli, l'aereo NCM che trasporta cristalli di sale mescolati con magnesio, cloruro di sodio e cloruro di potassio viene "seminato" nelle nuvole. Durante i tradizionali voli di inseminazione delle nuvole negli Emirati Arabi Uniti, i sali naturali o gli agenti idroscopici vengono sparati nelle nuvole per aumentare le precipitazioni», ha affermato Omar Alyazeedi, vicedirettore dell'NMC.

Come spiegato dallo stesso vicedirettore dell'NMC, il programma di inseminazione delle nuvole negli Emirati Arabi Uniti è iniziato alla fine degli anni '90. Dal 2001, il programma ha collaborato con organizzazioni come il National Centre for Atmospheric Research (NCAR) in Colorado, così come la Witwatersrand University in Sud Africa e l'Agenzia Spaziale degli Stati Uniti, la NASA. Gli Emirati Arabi Uniti hanno lanciato il Premio UAE per l'Eccellenza per l'avanzamento della scienza e della pratica della modificazione del clima, in collaborazione con l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), proprio perché hanno da subito deciso di puntare forte su questa tecnologia di

modificazione meteorologica. Alyazeedi ha detto: «Gli Emirati Arabi Uniti sono emersi come un hub chiave per la ricerca all'avanguardia sul miglioramento della pioggia grazie agli sforzi del Centro nazionale di meteorologia (NCM), attraverso il Programma di ricerca degli Emirati Arabi Uniti per la scienza del miglioramento della pioggia (UAEREP), per far progredire la scienza e la tecnologia del miglioramento della pioggia. Fin dal suo inizio, il programma si è concentrato sull'innovazione della ricerca attraverso metodi volti a stimolare le precipitazioni nelle regioni aride. Questi includono: nanotecnologia, elaborazione dei dati basata su algoritmi, studi sulle zone di convergenza, nucleazione del ghiaccio, ottimizzazione della semina in aerosol, analisi delle proprietà elettriche delle nubi, creazione di nuvole artificiali per indurre la pioggia, osservazione mirata e semina attraverso veicoli aerei senza equipaggio e approcci sperimentali-numericamente avanzati per il miglioramento della pioggia».

Insomma, negli Emirati Arabi Uniti la questione del *cloud seeding* non è affatto un tabù, quanto piuttosto un argomento dibattuto e un campo di ricerca in cui si investono molti soldi. Certamente, la questione che riguarda l'acqua in zone come il Medio Oriente è molto rilevante e sentita e, forse anche per questo, fa sì che tale argomento non sia taciuto o nascosto.

## Il business del *cloud seeding*

Secondo uno studio di Polaris Market Research<sup>4</sup>, nel 2021 il mercato globale del *cloud seeding* è stato valutato in 120.2 milioni di dollari, con una previsione di crescita del 5,2% tra il 2022 e il 2030. Il mercato globale si sta espandendo a seguito dei crescenti investimenti in programmi di modifica meteorologica, dell'introduzione di nuove tecnologie e dell'aumento della domanda per ridurre i rischi ambientali legati alla scarsità d'acqua. L'aumento dell'uso della tecnologia di inseminazione delle nuvole per creare pioggia artificiale e mantenere i livelli dell'acqua entro un certo livello nei luoghi aridi apre infatti nuove prospettive di crescita del mercato, le cui previsioni potrebbero variare enormemente rispetto a quelle già effettuate. Si prevede che il mercato sarà guidato soprattutto da iniziative governative. I governi di Stati Uniti, Cina, India ed Emirati Arabi Uniti stanno investendo ampiamente in progetti di modifica meteorologica, creando un enorme potenziale per gli operatori del mercato per condurre ricerche e introdurre nuovi prodotti.

Ampi settori della popolazione umana ora sono davvero preoccupati per la scarsità d'acqua. Più di 2 miliardi di persone in tutto il mondo stanno vivendo un significativo disagio idrico, secondo una



Alluvione a Dubai, Emirati Arabi, 16 aprile 2024

ricerca delle Nazioni Unite del 2019. Secondo un rapporto dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) del 2020, 3,2 miliardi di persone vivono in aree agricole che sperimentano carenze idriche da moderate a gravi. Pertanto, c'è un urgente bisogno di tecnologie meteorologiche in grado di sostituire le riserve idriche naturali esaurite e aumentare la sufficienza idrica nei luoghi sensibili a causa della crescente crisi idrica mondiale. Per tali motivi, si pensa che le tecnologie di insemminazione delle nuvole, che possono incoraggiare la pioggia artificiale e aumentare l'accesso all'acqua utilizzabile nelle aree con scarsità d'acqua, possano svolgere un ruolo fondamentale nell'affrontare queste preoccupazioni, specie in regioni desertiche come il Medio Oriente e le regioni del Nord Africa.

In tutto il mondo c'è una crescente necessità di prodotti agricoli e di fonti d'acqua, che si prevede avrà un impatto positivo sul mercato dei sistemi di insemminazione delle nuvole durante il periodo di previsione. È stato determinato che alcune aree stanno assistendo a un aumento dell'uso di tecnologie di insemminazione delle nuvole per creare pioggia artificiale e mantenere il livello dell'acqua nelle zone colpite dalla siccità, e che questo è il fattore chiave del mercato dei sistemi di insemminazione delle nuvole. L'analisi prevede che ci saranno maggiori investimenti in iniziative di *cloud seeding*, che aumenteranno la domanda di dispositivi. L'aumento della domanda di acqua da parte di vari settori spinge quindi la crescita del mercato. Nei prossimi anni, si prevede che la crescente consapevolezza dei consumatori sui vantaggi del *cloud seeding* guiderà l'espansione del mercato. Durante il periodo di proiezione, è previsto che l'aumento degli investimenti pubblici per migliorare

le risorse idriche apra nuove potenzialità per gli operatori di mercato. Dunque, nei prossimi anni, la domanda di questi beni aumenterà man mano che gli operatori commerciali e privati implementeranno tecnologie di *cloud seeding* a un ritmo più rapido.

Così, il gigantesco problema umano (e non solo) dell'approvvigionamento idrico costituirà per alcuni una grande opportunità di business e di profitto. Aniché mettere in atto una rivoluzione del sistema entro cui viviamo, si preferisce quindi ricorrere a strumenti che andranno a incidere su sistemi complessi, le cui conseguenze non sono prevedibili, almeno non del tutto. Viene dunque da chiedersi se il *cloud seeding* sia una soluzione o piuttosto un nuovo sconvolgimento, che si va ad aggiungere a quelli già in essere, le cui conseguenze, soprattutto a lungo termine, non sono conosciute. ■

#### Note e riferimenti bibliografici

1. Desert Reserch Institute, *Cloud Seeding Program*, [www.dri.edu](http://www.dri.edu).
2. M. Manfrin, *Italia: diecimila firme in Parlamento contro gli esperimenti di "cloud seeding"*, [www.lindipendente.online](http://www.lindipendente.online), 17 giugno 2024.
3. M. Manfrin, *Gli esperimenti di insemminazione delle nuvole hanno causato diluvi a Dubai*, [www.lindipendente.online](http://www.lindipendente.online), 13 marzo 2024.
4. Polaris Market Research, *Cloud Seeding Market Share, Size, Trends, Industry Analysis Report, By Type (Aerial Cloud Seeding, Ground Based Cloud Seeding); By Seeding Technique; By Region; Segment Forecast, 2022-2030*, [www.polarismarketresearch.com](http://www.polarismarketresearch.com), ottobre 2022.

# CHI FINANZIA GLI ESPERIMENTI DI GEOINGEGNERIA?

di Michele Manfrin



**IL** panorama della geoingegneria si nutre di progetti ed esperimenti più o meno riusciti portati avanti da lungo tempo. Il panorama in merito agli interessi che si muovono dietro questi progetti e agli scopi per i quali vengono finanziati è vario e intricato. Tuttavia, si può individuare una linea direttrice. La gran parte degli interessi e dei finanziamenti muovono verso una specifica branca della geoingegneria, quella che promette di contrastare gli effetti nefasti dell'estrattivismo petrolifero e gassoso, aiutando a contenere le emissioni. In buona sostanza, è specchio di quella corrente – dominante a livello politico e perfettamente utile alle grandi aziende del settore – che non vuole bloccare le attività industriali che hanno prodotto la devastazione ambientale, ma promette semplicemente di mitigarne gli effetti. Come abbiamo ampiamente dettagliato su *L'Indipendente*<sup>1</sup>, la geoingegneria a fini climatici (che funzioni o meno) è un alibi perfetto per le grandi aziende fossili, in quanto permette loro di continuare impunemente a portare avanti le attività estrattive ammantandosi di un'aura di responsabilità ambientale. Grazie a essa, infatti, le aziende possono mostrare di aver messo in campo strumenti per contenere gli effetti delle proprie azioni sul clima. Non sorprenderà

dunque scoprire che il supporto economico a questi progetti si muove in buona parte sulla medesima linea di finanziamenti che nutre anche l'economia fossile.

## L'ineluttabilità della geoingegneria

Frank Biermann, esperto di governance globale presso l'Università di Utrecht, ha parlato con *The Guardian* del rischio imminente della geoingegneria: «Presto, tutti coloro che dipendono da carbone, petrolio e gas salteranno sul carro dell'ingegneria solare e diranno: possiamo continuare per 40 anni con i combustibili fossili. Questo dibattito minaccia di far deragliare le attuali politiche climatiche»<sup>2</sup>. Già nel 2009, in un articolo pubblicato su *Astronomy & Geophysics* dal professor John Shepherd, benché si mettesse in guardia da possibili rischi, effetti collaterali e conseguenze catastrofiche delle tecniche di geoingegneria, si paventava la quasi inevitabilità del suo impiego, basandosi sulla possibilità molto reale che avremmo fallito nel raggiungere gli obiettivi prefissati. «La Royal Society ha pubblicato i risultati della sua indagine sulle soluzioni di geoingegneria ai problemi posti dai cambiamenti climatici – ed

è una prospettiva cupa, ma inevitabile a meno che non facciamo tagli considerevoli alle emissioni di gas serra il prima possibile»<sup>3</sup> riporta l'articolo.

Nel 2013, sulle colonne di *Nature*, in occasione della pubblicazione del report del Gruppo intergovernativo delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (IPCC), si spiegava che la geoingegneria, nonostante tutto, sarebbe stata necessaria per riuscire a mantenere i parametri della temperatura entro i confini prefissati e mitigarne gli effetti sull'ambiente, in attesa della transizione green<sup>4</sup>. Un articolo di *Science* pubblicato nell'agosto 2023, il quale si apre con la frase «L'Oceano Atlantico ha la febbre»<sup>5</sup>, spiega come la recente mancanza di nuvole lasciate solitamente dalla miriade di navi che solcano quotidianamente l'Oceano in questione, stia comportando il riscaldamento dell'acqua. La spiegazione sarebbe data dal fatto che i regolamenti imposti nel 2020 dall'Organizzazione marittima internazionale delle Nazioni Unite (IMO) hanno ridotto l'inquinamento da zolfo delle navi di oltre l'80%, eliminando quindi «l'effetto delle particelle di solfato nel seminare e illuminare le caratteristiche nuvole basse e riflettenti che seguono la scia delle navi». Secondo gli studi citati dalla testata scientifica, «riducendo drasticamente il numero di tracce di navi, il pianeta si è riscaldato più velocemente». Insomma, l'effetto collaterale di un'azione positiva sarebbe in realtà negativo, avvalorando quindi l'ipotesi dell'intervento umano deliberato nella modificazione terrestre. A parte ciò, come spiegato nell'articolo, questo sarebbe un fenomeno negativo e non voluto che tuttavia permetterebbe lo studio dell'azione delle nuvole sulla radiazione solare e, quindi, per le tecnologie di geoingegneria che si occupano di manomettere gli strati dell'atmosfera terrestre. Insomma, se si scoprisse che quelle nuvole devono esistere affinché il mare si raffreddi, perché non ricrearle? La riduzione di un effetto di geoingegneria non voluta sarebbe quindi servita per scoprire che occorre operare della geoingegneria consapevole per ricreare l'effetto dell'inquinamento.

In una intervista<sup>6</sup> di tre anni fa a *Euronews*, Bill Gates, noto oligarca statunitense, filantropo capitalista, supporter della transizione green, ma anche del nucleare, si dice contrario alle «soluzioni basate sulla natura» poiché non sarebbero efficaci, almeno non abbastanza, ma favorevole alla geoingegneria, sia quella basata sul ciclo del carbonio, sia quella che agisce sulla radiazione solare. Sebbene lui stesso sostenga che la geoingegneria non costituisca una soluzione permanente, ammette di aver fondato molte compagnie che si occupano di cattura diretta dell'aria. Lo stesso Bill Gates è tra i finanziatori del Solar Geoengineering Research Program (SGRP) dell'Università di Harvard, la quale compie ricerca tecnico-scientifica, politica e sociale, riguardo la geoingegneria solare<sup>7</sup>.



Bill Gates, uno tra i finanziatori del Solar Geoengineering Research Program (SGRP) dell'Università di Harvard

## Stati, Università, centri di ricerca, istituti privati

SGRP ha ricevuto finanziamenti, oltre che da tutta una serie di fondazioni private, anche dal governo statunitense, per un importo di 16,2 milioni di dollari<sup>8</sup>. Le pubblicazioni del programma di Harvard in merito alla geoingegneria sono svariate, soprattutto in merito a quella solare. Tra gli scopi del programma vi è quello di far progredire la scienza e la tecnologia, l'efficacia, lo studio dei rischi, le opzioni di governance e le implicazioni sociali legate alle tecnologie per la geoingegneria. Una delle modalità è, ad esempio, lo sviluppo di nuovi tipi di aerosol attraverso la neutralizzazione del cloro stratosferico al posto dell'aerosol di solfato. Le modalità in cui ciò avviene non sono specificate. Per quanto riguarda l'efficacia e la sicurezza, viene solo spiegato che occorrono degli studi, senza però entrare in dettagli. Per quanto concerne la governance e le implicazioni sociali, il SGRP propone la creazione di un Climate Club, ovvero la cerchia di coloro che potranno, in base ad alcuni parametri stabiliti, decidere se e quanto utilizzare le tecniche di geoingegneria. Nelle istituzioni politiche statunitensi si discute almeno dal 2009 sulle possibili conseguenze di un utilizzo su vasta scala della geoingegneria<sup>9</sup>. Il governo degli Stati Uniti, dopo aver già stanziato svariati milioni di dollari, nel 2022 ha varato un piano quinquennale di valutazione degli interventi di geoingegneria solare e non, riguardante anche il contesto dei rischi e dei pericoli climatici a breve termine<sup>10</sup>. Al fine di mantenere gli obiettivi dell'accordo di Parigi, che sembrano lontani da essere raggiunti, la geoingegneria rappresenterebbe una sorta di "piano B". Il governo britannico definisce la geoingegneria come «necessaria» ed «essenziale» per poter raggiungere gli obiettivi climatici<sup>11</sup>, sebbene in realtà non costituisca altro che un modo per permettere a chi fino ad ora ha inquinato e sfruttato di continuare a farlo (senza contare i rischi connessi). Per fare questo, diversi milioni di dollari sono stati riversati nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie geoingegneristiche.

Sulla pagina dell'Oxford Geoengineering Programme, fondato nel 2010 come iniziativa della Oxford Martin

School dell'Università di Oxford, vengono spiegati i programmi di ricerca condotti fino ad ora. Quelli in corso sono due progetti finanziati dai Consigli di ricerca del Regno Unito e due progetti finanziati da fondazioni filantropiche: il progetto Greenhouse Gas Removal by Enhanced Weathering (GGREW) in collaborazione con l'Università di Southampton, l'Università di Cardiff e l'Università di Cambridge; il progetto Comparative Assessment and Region-Specific Optimisation of GGR con l'Imperial College di Londra, l'University College di Londra, l'Università dell'East Anglia e l'Università di Cambridge; il Geoengineering Research Governance Project (GRGP) in collaborazione con l'Università di Calgary e l'Institute for Advanced Sustainability Studies – Potsdam; il progetto Greenhouse Gas Removals Instruments and Policies (GRIP) con l'Università di Manchester. L'Università di Oxford è stata precedentemente coinvolta in tre importanti progetti sulla geoingegneria finanziati dai Consigli di ricerca del Regno Unito: l'Integrated Assessment of Geoengineering Proposals (IAGP) in collaborazione con l'Università di Leeds, l'Università di Cardiff, l'Università di Lancaster, l'Università di Bristol, l'Università dell'East Anglia, il Tyndall Centre e il Met Office del Regno Unito; la Stratospheric Particle Injection for Climate Engineering (SPICE) in collaborazione con l'Università di Bristol e l'Università di Cambridge; e il Climate Geoengineering Governance (CGG), un progetto guidato da Oxford in collaborazione con l'Università del Sussex e l'University College di Londra, in cui si è esaminato la governance e l'etica della geoingegneria.

## Ricerca e normalizzazione della geoingegneria

Sulla geoingegneria, l'Università di Oxford ha stabilito 5 punti guida che dovrebbero indirizzare la ricerca, lo sviluppo e l'applicazione delle varie tecniche. I cosiddetti "Principi di Oxford", come vengono chiamati questi cinque punti, sono i seguenti: «La geoingegneria deve essere regolata come bene pubblico»; «Partecipazione del pubblico al processo decisionale in materia di geoingegneria»; «Divulgazione della ricerca di geoingegneria e pubblicazione aperta dei risultati»; «Valutazione indipendente degli impatti»; «Governance prima della distribuzione». Per ognuno di essi viene poi fornita una breve spiegazione. Per quanto concerne il primo principio, lo riportiamo qui per intero: «Sebbene il coinvolgimento del settore privato nella fornitura di una tecnica di geoingegneria non dovrebbe essere vietato, e può anzi essere incoraggiato a garantire che l'impiego di una tecnica adeguata possa essere effettuato in modo tempestivo ed efficiente, la regolamentazione di tali tecniche dovrebbe essere intrapresa nell'interesse pubblico dagli organismi competenti a livello statale e/o internazionale». Dunque, secondo l'Università di Oxford, la geoingegneria è ormai qualcosa di assodato, per la quale va soltanto scelto quale sia il tipo di governance, propendendo per un controllo statale delle attività ma con

la grande (e proficua) partecipazione del settore privato. Insomma, il solito carrozzone pubblico-privato in cui il primo si occupa di applicare la forza coercitiva mentre il secondo incassa. Sul sito di Oxford possiamo trovare decine tra pubblicazioni di ricerca, note informative e documenti di lavoro riguardanti la geoingegneria<sup>12</sup>. Anche la Brookings Institution dà ormai per scontata la normalizzazione dell'impiego della geoingegneria e l'avvento su larga scala del suo utilizzo, andando a spiegare come gli Stati Uniti dovrebbero comportarsi per «promuovere lo sviluppo di un regime di governance internazionale per la geoingegneria». Inizialmente sarebbero utilizzati i forum internazionali già esistenti e al contempo occorrerebbe redigere un codice di condotta completo per la ricerca geoingegneristica in tutto il mondo. Sul lungo periodo, secondo la Brookings Institution, «gli Stati Uniti dovrebbero assumere un ruolo guida nella creazione di un organismo internazionale specifico per la geoingegneria, con la portata e la flessibilità appropriate per affrontare la miriade di sfide coinvolte, promuovendo al contempo un'ampia partecipazione»<sup>13</sup>. ■

### Note e riferimenti bibliografici

1. M. Manfrin, *Stoccaggio di CO2: come le aziende fossili "ripuliscono" l'ambiente guadagnandoci sopra*, [www.lindipendente.online](http://www.lindipendente.online), 15 febbraio 2024.
2. O. Milman, *Can geoengineering fix the climate? Hundreds of scientists say not so fast*, [www.theguardian.com](http://www.theguardian.com), 25 dicembre 2022.
3. J. Shepherd, *Geoengineering: expensive, inefficient, uncertain and inevitable?*, in *Astronomy & Geophysics*, vol. 50, n. 5, [academic.oup.com](http://academic.oup.com), 1° ottobre 2009.
4. D. Cressey, *Climate report puts geoengineering in the spotlight*, [www.nature.com](http://www.nature.com), 2 ottobre 2013.
5. P. Voosen, *"We're changing the clouds." An unintended test of geoengineering is fueling record ocean warmth*, [www.science.org](http://www.science.org), 2 agosto 2023.
6. JJ. Wilks, *Bill Gates says getting to zero emissions will be "best thing we've ever done"*, [www.euronews.com](http://www.euronews.com), 15 febbraio 2021.
7. Harvard Solar Geoengineering Research Program, *Funding*, [geoengineering.environment.harvard.edu](http://geoengineering.environment.harvard.edu).
8. L. Garden, *Geoengineering is gathering momentum here's why you should care*, [www.greenbiz.com](http://www.greenbiz.com), 24 maggio 2023.
9. J.U.S. Government Publishing Office, *Geoengineering part I, II and III – Hearing before the Committee on Science and Technology, House of Representatives, One Hundred Eleventh Congress, First Session and Second Session*, [www.govinfo.gov](http://www.govinfo.gov), 2010.
10. White House, *Request for Input to a Five-Year Plan for Research on Climate Intervention*, [www.whitehouse.gov](http://www.whitehouse.gov).
11. UK Government, *UK government's view on greenhouse gas removal technologies and solar radiation management*, 4 maggio 2020.
12. Oxford Martin School, Oxford University, *Oxford Geoengineering Programme*, [www.oxfordmartin.ox.ac.uk](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk).
13. J. Versen, Z. Mnatsakanyan, J. Urpelainen, *Preparing the United States for security and governance in a geoengineering future*, [www.brookings.edu](http://www.brookings.edu), 14 dicembre 2021.

# LA VERITÀ SULLE SCIE CHIMICHE IN BASE A UN'ANALISI DELLE FONTI ESISTENTI

di Michele Manfrin



Secondo una credenza diffusa, le scie chimiche (scie di condensazione di lunga durata lasciate nel cielo dagli aerei in alta quota) sarebbero in realtà composte da agenti chimici o biologici, spruzzati per scopi nefasti e oscuri non rivelati al grande pubblico. I sostenitori di questa teoria affermano che, mentre le scie di condensazione normali – quelle rilasciate dagli aerei durante il volo – si dissipano in tempi relativamente brevi, quelle che persistono contengono invece sostanze aggiuntive. Gli scopi sarebbero diversi: manipolazione psicologica e controllo della popolazione umana, manipolazione umana e terrestre della composizione biologica o chimica, test di agenti biologici o chimici sulla popolazione, ma anche la modificazione del clima e la gestione della radiazione solare e, quindi, in altre parole, geoingegneria. Come spiegato in altri articoli di questo *Monthly Report*, istituti di ricerca, università e diverse altre organizzazioni, sia pubbliche che private, sperimentano e utilizzano tecniche di geoingegneria nel tentativo, del tutto indimostrato e potenzialmente nocivo e controproducente, di rallentare il cosiddetto

“riscaldamento globale”. Le teorie complottiste sulle scie chimiche arrivano a postulare che le compagnie aeree militari e commerciali siano coinvolte in una costante e massiccia irrorazione quotidiana, che sta danneggiando la salute fisica e mentale dei cittadini di tutto il mondo. Queste credenze hanno iniziato a circolare in rete dopo che, nel 1996, la United States Air Force (USAF) pubblicò un rapporto sulla modificazione del clima. Così, l'USAF è stata accusata di irrorare sostanze velenose sulla popolazione degli Stati Uniti per gli scopi sopra descritti, manipolazione psicologica e controllo della popolazione umana *in primis*. La prova? L'esistenza stessa delle tracce, con i loro modelli incrociati, a griglia o a strisce parallele, che alla fine si fondono per formare grandi nuvole.

Le fotografie di barili installati nello spazio passeggeri di aeromobili civili, che si possono trovare su internet, sono state citate come ulteriore prova di queste teorie. A nulla sono valse le spiegazioni che illustrano come lo scopo di questi sia simulare il peso dei passeggeri o del carico



Edward Snowden

al momento del volo, per testare le capacità del mezzo. I barili sono infatti riempiti d'acqua, che può essere pompata da un barile all'altro per testare diversi centri di gravità e distribuzione di peso mentre l'aereo è in volo<sup>1</sup>. L'ex dipendente della CIA, il *whistleblower* Edward Snowden, intervistato da *The Joe Rogan Experience*, ha

detto di non essere riuscito a trovare nessuna informazione riguardo a programmi segreti di irrorazione in cielo mentre era in servizio: «Nel caso ve lo stiate chiedendo, le scie chimiche non esistono», ha detto Snowden<sup>2</sup>.

Le scie che vediamo in cielo sarebbero quindi «strisce di vapore acqueo condensato create nell'aria da un aereo o da un razzo ad alta quota»<sup>3</sup>. Infatti, la combustione di combustibili fossili, come avviene nei motori a pistoni e a reazione, produce anidride carbonica e vapore acqueo. L'aria calda e umida proveniente dallo scarico del motore si mescola con l'aria, che in alta quota è molto fredda, provocando la condensazione del vapore acqueo in goccioline o cristalli di ghiaccio, che formano nuvole visibili. La velocità con cui le scie di condensazione si dissipano dipende interamente dalle condizioni meteorologiche. Se l'atmosfera è vicina alla saturazione, la scia di condensazione può resistere nel tempo, anche per ore. Al contrario, se l'atmosfera è secca, la scia si dissiperà rapidamente. Per tale motivo, gli scienziati dell'atmosfera spiegano che le scie di condensazione possono persistere per ore e che è normale che si diffondano in fogli di cirri, una conformazione nuvolosa esistente in natura. I cristalli di ghiaccio, di diverse dimensioni nelle scie di condensazione, scendono a velocità diverse, il che diffonde la scia, oltre che orizzontalmente, anche verticalmente. Quindi, la differenza di velocità del vento tra le altitudini provoca la diffusione orizzontale della scia di condensazione. Si tratta di un meccanismo simile a quello per la formazione dei cirri *uncinus*, i fogli di cirro. Le scie di condensazione che si trovano tra i 25.000 e i 40.000 piedi (7600 e 12.200 metri) possono spesso fondersi in un foglio interlacciato quasi solido, dando origine a conformazioni nuvolose<sup>4</sup>.

Nelle giuste condizioni atmosferiche, le scie di condensazione possono quindi avere una diffusione

laterale di diversi chilometri e, dato l'elevato traffico aereo dei nostri giorni, è possibile che queste creino un cielo completamente coperto, che aumenta il bilancio di ghiaccio delle singole scie. Gli esperti di fenomeni atmosferici affermano che le caratteristiche attribuite alle scie chimiche sono semplicemente caratteristiche delle scie di condensazione che rispondono a diverse condizioni in termini di luce solare, differenza di velocità del vento, temperatura (orizzontale e verticale) e livelli di umidità presenti all'altitudine dell'aereo. Negli Stati Uniti, la natura a griglia delle rotte di volo del National Airspace System tende a causare scie di volo tratteggiate incrociate e, in generale, è difficile discernere da terra se le scie di condensazione sovrapposte si trovino ad altitudini simili o meno.

La scheda informativa pubblicata nel 2000, prodotta congiuntamente dalla National Aeronautics and Space Administration (NASA), dall'Environmental Protection Agency (EPA), dalla Federal Aviation Administration (FAA) e dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), in risposta agli allarmi lanciati sulle scie chimiche, descrive in dettaglio la scienza della formazione delle scie di condensazione e delinea sia l'impatto noto che quello potenziale delle scie di condensazione sulla temperatura e sul clima terrestre<sup>5</sup>.

## Quindi è tutto a posto? Per niente

Senza bisogno di scomodare teorie complottiste, le scie di condensa che rilasciano gli aerei non sono di certo innocue. Di fatto, esse causano problemi sia di carattere ambientale (per via delle sostanze tossiche presenti, che impattano anche sulla salute umana) che climatico, in quanto creano sistemi nuvolosi artificiali che, sebbene simili ai cirri presenti in natura, nel lungo periodo modificano le strutture nuvolose, creando un sistema di copertura artificiale destinato ad aumentare con il costante aumento dei mezzi in volo.

Le emissioni atmosferiche che gli aerei rilasciano insieme al vapore acqueo sono: biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV), ossidi di azoto (NOx), ossidi di zolfo (SOx), fuliggine carbonica e tracce di metalli. Queste emissioni si verificano lungo tutta la traiettoria di volo dell'aereo e la maggior concentrazione si ha lungo le rotte, specie se parecchio trafficate, mentre al suolo la concentrazione di queste sostanze si trova nelle vicinanze degli aeroporti, specie di quelli di maggiori dimensioni e particolarmente trafficati. COV e NOx contribuiscono alla formazione dell'inquinamento nello strato di ozono, ovvero nell'ozonosfera. Inoltre, NOx, SOx e la fuliggine carbonica contribuiscono alla formazione di particelle fini come il PM<sub>2,5</sub>, ovvero il particolato



con polveri sottili, le quali sono composte di particelle di dimensioni uguali o inferiori a 2,5 micron. In aggiunta, gli aerei con motore a pistoni più vecchi sono fonte significativa di emissioni di piombo (Pb) nell'aria; sebbene questi mezzi siano in forte diminuzione, sono ancora presenti nelle flotte aeree civili e militari di molti Paesi<sup>6</sup>.

Come viene sostenuto anche nella scheda informativa pubblicata nel 2000 sopra citata (prodotta congiuntamente dalla NASA, dall'EPA, dalla FAA e dal NOAA, in cui si delinea sia l'impatto noto che quello potenziale delle scie di condensazione sulla temperatura e sul clima terrestre), la copertura creata dalle scie aeree potrà in futuro variare al cambiare dei fattori chiave che influenzano la formazione e l'evoluzione delle scie di condensa. Dal lato ambientale e atmosferico, dipenderà dal mutare delle condizioni di umidità atmosferica e dalla temperatura. Dal lato degli aeromobili, i fattori chiave includono le tecnologie del motore che influiscono sulle emissioni e sulle condizioni del pennacchio di scarico, così come dalla quantità e dall'ubicazione del traffico aereo. Cambiamenti nel motore (come, ad esempio, l'efficienza del carburante) potrebbero modificare la quantità di calore e l'acqua emessa nel pennacchio di scarico, influenzando così la frequenza e la copertura geografica delle scie.

Anche i cambiamenti nel traffico aereo potrebbero influenzare la formazione persistente delle scie. Attualmente, viene stimato che le regioni con sufficiente umidità per favorire la formazione di scie persistenti di copertura siano circa il 16% della superficie terrestre. Se dovessero modificarsi le condizioni di umidità in altre regioni terrestri, in senso favorevole alla creazione di scie persistenti, allora aumenterà anche la porzione di superficie

di cielo che permetterà una copertura persistente. Allo stesso modo, se invece dovesse aumentare il traffico aereo dove il fenomeno è già presente, allora aumenterà anche la copertura artificiale prodotta dai gas di scarico degli aerei. Nel complesso, sulla base dell'analisi dei dati meteorologici e sulla futura crescita del traffico aereo, viene previsto che, al 2050, la copertura artificiale aumenterà.

## Le scie di condensa e la copertura artificiale come "geoingegneria involontaria"

In sostanza, dunque, la copertura artificiale prodotta dalle scie di condensa persistenti, le quali creano fogli di cirri artificiali che vanno a unirsi e che coprono il cielo, ha un impatto diretto sui modelli climatici terrestri. In altre parole, le scie di condensa persistenti e l'inquinamento rilasciato dai gas di scarico degli aerei stanno di fatto ingegnerizzando la terra e contribuendo a ciò che viene chiamato "cambiamento climatico".

Uno studio condotto dall'Imperial College di Londra<sup>7</sup>, basandosi su ricerche precedenti, afferma che le scie di condensazione (e le nuvole artificiali che esse creano) abbiano un impatto sul "riscaldamento climatico", o "cambiamento climatico". Le emissioni dell'aviazione e i cirri artificiali, che si creano per il persistere delle scie di condensazione, creano un effetto collaterale chiamato «forzante radiativo». È qui che l'equilibrio tra la radiazione proveniente dalla terra a causa del sole e il calore emesso dalla superficie terrestre che esce nello spazio viene interrotto, forzando un cambiamento del clima. In altre parole, la copertura artificiale prodotta dalle scie di condensa sarebbe come una sorta di "geoingegneria involontaria", attinente alla gestione della radiazione solare,



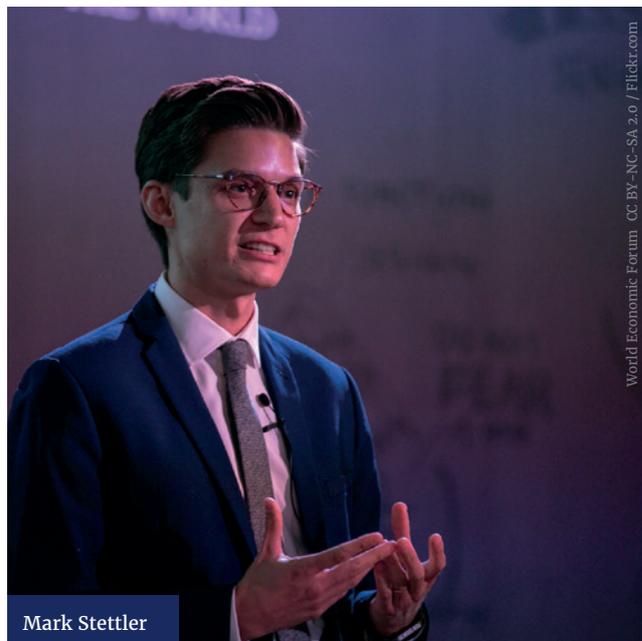
Combinando l'uso di motori aeronautici più efficienti e variando l'altitudine dei voli si potrebbero ridurre i danni al clima

che crea l'effetto opposto di quanti vorrebbero impiegare tale tecnologia per alleviare le condizioni prodotte con il "cambiamento climatico".

Lo studio condotto dall'Imperial College dimostrerebbe che è possibile, combinando l'utilizzo di motori aeronautici più puliti ed efficienti (e, soprattutto, una variazione di altitudine dei voli), ridurre i danni al clima causati dalle scie di condensazione fino al 90%. L'autore principale, il dottor Marc Stettler, del Dipartimento di Ingegneria civile e ambientale dell'Imperial, ha dichiarato: «Secondo il nostro studio, cambiare l'altitudine di un piccolo numero di voli potrebbe ridurre significativamente gli effetti climatici delle scie di condensazione dell'aviazione. Questo nuovo metodo potrebbe ridurre molto rapidamente l'impatto climatico complessivo dell'industria aeronautica». Il dottor Stettler e colleghi hanno utilizzato simulazioni al computer per prevedere come il cambiamento delle altitudini degli aerei potrebbe ridurre il numero di scie di condensazione e per quanto tempo rimangono, il che ridurrebbe il loro impatto sul riscaldamento. Questo perché le scie di condensazione si formano e persistono solo in strati sottili dell'atmosfera che hanno un'umidità molto elevata. Poiché questi strati sono sottili, piccoli cambiamenti alle altitudini di volo significherebbero che gli aerei potrebbero evitare queste regioni, portando alla formazione di un minor numero di scie di condensazione.

Utilizzando i dati dello spazio aereo giapponese, gli scienziati hanno scoperto che solo il 2% dei voli era responsabile dell'80% delle radiazioni forzanti all'interno dello spazio aereo. Il dottor Stettler ha dichiarato: «Una percentuale davvero piccola di voli è responsabile della stragrande maggioranza dell'impatto climatico delle scie di condensazione, il che significa che possiamo concentrare la nostra attenzione su di loro».

Tenendo conto della congestione nello spazio aereo sopra il Giappone, il team ha simulato questi aerei per volare 2000 piedi più in alto o più in basso rispetto alle loro effettive traiettorie di volo e ha scoperto che la forzatura del clima, quindi il forzante radiativo, delle scie di condensazione potrebbe essere ridotta del 59% alterando le altitudini dell'1,7% dei voli. I ricercatori affermano che anche i motori degli aerei stessi giocano un ruolo nel modo in cui le scie di condensazione sono dannose. Le particelle di carbonio nero sono prodotte dalla combustione incompleta del carburante, quindi una nuova tecnologia di combustione del motore più efficiente potrebbe aiutare a ridurle di circa il 70%. Questo, combinato con piccoli cambiamenti di altitudine, potrebbe aiutare a ridurre il danno complessivo della scia di condensazione di circa il 90%.



Mark Stettler

Rimanendo aderenti al metodo giornalistico, quindi con un assetto critico ma che si limita a fonti verificate, come ci sforziamo di fare su *L'Indipendente*, ci sentiamo, in conclusione, di poter affermare quanto segue: a oggi nessuna fonte concreta e affidabile permette di affermare che le scie chimiche, intese come scie che testimonierebbero il rilascio volontario di sostanze a fini di manipolazione dell'uomo o dell'ambiente, esistano realmente. E le affermazioni di personaggi di spiccata trasparenza che hanno avuto accesso a fonti riservate come Edward Snowden, così come il fatto che nemmeno dai documenti riservati pubblicati da Julian Assange su WikiLeaks sia mai emerso nulla in materia, confermano questa idea. ■

#### Note e riferimenti bibliografici

1. M. Haenggi, *Boeing Widebodies*, Zenith Press, 2003.
2. J. Rogan, *Joe Rogan Experience #1368 – Edward Snowden*, [www.youtube.com](http://www.youtube.com), 2020.
3. EPA, *Contrails Facts*, [www.epa.org](http://www.epa.org), 13 ottobre 2005.
4. P.M. Kuhn, *Airborne Observations of Contrail Effects on the Thermal Radiation Budget*, in *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 27, n. 6, [journals.ametsoc.org](http://journals.ametsoc.org), 1° settembre 1970.
5. EPA, *Aircraft Contrails Factsheet*, [nepis.epa.gov](http://nepis.epa.gov), settembre 2000.
6. Vermont Department of Environmental Conservation, *Contrails vs. Chemtrails: Fact Sheet*, [dec.vermont.gov](http://dec.vermont.gov), luglio 2014.
7. C. Brogan, *Small altitude changes could cut climate impact of aircraft by up to 59%*, [www.imperial.ac.uk](http://www.imperial.ac.uk), 12 febbraio 2020.