

SE SPARISCONO I GHIACCI

L'unico modo per eliminare la causa principale del riscaldamento globale – di cui il ritiro del ghiaccio marino artico è sia effetto che causa, in un circolo vizioso di retroazioni – è la rimozione dell'anidride carbonica dall'atmosfera. Una strada che, per essere percorribile, avrebbe bisogno di un imponente programma di ricerca, forse della grandezza del Progetto Manhattan, che dovrebbe essere il più importante obiettivo della scienza e della tecnologia, tanta è l'urgenza. Il grido d'allarme di uno tra i massimi esperti a livello mondiale di ghiaccio marino e oceani polari.

PETER WADHAMS

2
4

Il pianeta sta rapidamente andando incontro a un Artico quasi totalmente privo di ghiaccio nei mesi estivi, a seguito del ritiro e dell'assottigliamento dei ghiacci marini in corso almeno dal 1950. Si tratta di una diretta conseguenza del riscaldamento globale, principalmente a causa dell'aumento della temperatura dell'aria ma con un contributo anche degli oceani: la superficie dell'Atlantico al di sotto del ghiaccio si è riscaldata di circa 1 °C negli ultimi anni.

A sua volta, il ritiro dei ghiacci retroagisce su altri aspetti del sistema climatico che finiscono per aumentare l'impatto generale del ritiro dei ghiacci. Tra i maggiori effetti di retroazione ci sono:

- quello relativo all'albedo¹: con la diminuzione del ghiaccio marino e delle superfici innevate cala anche l'albedo media della Terra (cioè più radiazione solare viene assorbita anziché essere riflessa), il che oggi, in termini di forzante climatica, è equivalente ad aumentare del 50 per cento le nostre emissioni di CO₂;
- quello relativo al livello dei mari: il ritiro dei ghiacci marini porta a un'atmosfera più calda attorno alla Groenlandia in estate, velocizzando il tasso di fusione del ghiaccio continentale e dunque aumentando il livello globale dei mari;

¹ Il termine «albedo» indica la frazione di energia solare riflessa rispetto a quella incidente. Tutte le note sono del traduttore.

- quello relativo al metano: quantità crescenti di metano vengono emesse dalle piattaforme continentali ² dell'Oceano Artico e questo fenomeno potrebbe accelerare al punto da creare una rapida e massiccia fuoriuscita di metano in atmosfera, tale da creare gravi conseguenze climatiche;
- quello relativo agli effetti meteorologici: alcuni cambiamenti negli estremi meteorologici sembrano essere correlati al ritiro dei ghiacci e minacciano seriamente la produzione alimentare globale;
- un indebolimento della circolazione termoalina ³ dell'Atlantico dovuto alla perdita di ghiaccio marino della Groenlandia, che ridurrà il tasso di riscaldamento dell'Europa occidentale mentre farà crescere quello dell'Atlantico tropicale, aumentando l'intensità degli uragani.

In questo saggio parlerò di tecniche nuove, come i veicoli subacquei a guida autonoma per monitorare l'assottigliamento dei ghiacci e l'uso di boe ondometriche per mappare la penetrazione delle onde nella massa di ghiaccio. Tecniche di geo-ingegneria come lo schiarimento delle nuvole marine (*marine cloud brightening*) potrebbero rallentare l'aumento delle temperature, ma lascerebbero invariati i livelli di CO₂. Sosterrò pertanto che, per preservare la nostra civiltà, l'unica soluzione all'accelerazione del riscaldamento globale è la cattura diretta di CO₂ dall'atmosfera ⁴.

25

La perdita di ghiaccio marino artico

Ho dedicato una vita intera alla ricerca sul ghiaccio marino artico. Iniziai nel 1970, con la traversata del Passaggio a nord-ovest sulla nave canadese *CSS Hudson*. Il ghiaccio, molto pesante e spesso, era ammassato lungo la costa dell'Artico per gran parte della rotta e fu necessaria l'assistenza di un grosso rompighiaccio per avanzare. Si trattava perlopiù di ghiaccio pluriennale, vale a dire cresciuto e ingrossatosi nel corso di molti anni, raggiungendo uno spessore medio di 3-4 metri. Dall'anno seguente il mio lavoro sul campo ha spesso incluso viaggi sottomarini al Polo Nord. Sotto il ghiaccio dell'Oceano Artico potevamo ammirare la magnifica, robusta to-

² La parte sommersa e relativamente poco profonda dei continenti che si estende dalla linea di costa fino a dove la profondità inizia a crescere rapidamente.

³ Per circolazione termoalina si intende la componente della circolazione globale oceanica causata dalla variazione di densità delle masse d'acqua. La densità è determinata dalla temperatura e dalla salinità delle acque.

⁴ Su tutti questi argomenti si veda l'ultimo libro di P. Wadhams, *Addio ai ghiacci*, Bollati Boringhieri, Torino, 2017.

2
6

pografia del ghiaccio pluriennale, con creste di pressione (generate da venti convergenti) che si estendevano oltre i 50 metri di profondità. Col passare del tempo, tuttavia, le condizioni del ghiaccio sono cambiate e sono aumentate le situazioni di «ghiaccio del primo anno», ovvero quello che si forma e fonde in un solo ciclo annuale e che raggiunge uno spessore di appena 1-1,5 metri. Nel 1990 ho pubblicato il primo articolo scientifico sull'assottigliamento del ghiaccio artico. Vi comparavo profili di aree artiche del 1976 con analoghe aree del 1987, rilevando una diminuzione di spessore del 15 per cento. Oggi quel calo è vicino al 50 per cento e il ghiaccio pluriennale è quasi del tutto sparito. Vista da satellite, la superficie all'estremità superiore del nostro pianeta in estate appare ora blu anziché bianca.

La perdita estiva di ghiaccio marino artico è uno dei più grandi cambiamenti ambientali in corso sul pianeta. Il ritiro del ghiaccio marino iniziò a essere rilevabile intorno al 1950 (a quei tempi, dell'assottigliamento non si sospettava niente), a un tasso iniziale del 3-4 per cento ogni dieci anni. Dagli anni Novanta in poi è accelerato e oggi in settembre (periodo dell'anno in cui se ne misura il minimo di estensione) l'area di ghiaccio dell'Oceano Artico e il suo spessore medio sono pari solo al 50 per cento del valore che avevano alla fine del XX secolo, rendendo il volume pari a un quarto di quello che era negli anni Settanta e Ottanta. L'evidenza a inizio 2020 è che ci sarà un'ulteriore diminuzione del volume di ghiaccio in estate, poiché esso si è attestato su valori bassi per tutto l'autunno e l'inverno 2019-2020.

La tendenza delle aree coperte da ghiaccio marino a diminuire in estate porterà probabilmente molto presto a un Oceano artico quasi del tutto privo di ghiacci in settembre, seguito nei prossimi anni da un allungamento a 3-4 mesi del periodo in cui la superficie marina è priva di ghiacci: l'Artico inizierà ad avere un ciclo stagionale del ghiaccio marino simile a quello Antartico. Ugualmente preoccupante è il fatto che l'avanzamento del ghiaccio invernale è anch'esso più lento che in passato, portando a valori massimi invernali più bassi. A ottobre e novembre 2015, a bordo della nave di ricerca *Sikuliaq* dell'Università dell'Alaska, ho preso parte a una spedizione che aveva come obiettivo lo studio dell'avanzamento del ghiaccio autunnale nel Mare di Beaufort: la formazione del ghiaccio sembrava essere ostacolata dalla maggiore quantità di calore assorbita nella colonna di acqua dalla radiazione solare a causa della riduzione di ghiaccio marino in estate. Il fatto che quest'area di ghiaccio fosse ridotta generava anche un significativo moto

ondoso; le onde si infrangevano sulla massa di ghiaccio e la rompevano ai margini. Fenomeno studiato, durante un esperimento cui ho preso parte nel 2014, usando una batteria di 30 boe ondometriche autonome.

Il fattore che più incide sul ritiro dei ghiacci è il cambiamento nella temperatura dell'aria che nell'Artico è 3-4 volte più rapido rispetto alle latitudini più basse, un fenomeno noto come amplificazione artica, ancora non del tutto compreso. Altro fattore importante è l'apporto di acque calde dall'Oceano Atlantico e attraverso lo Stretto di Bering.

Retroazioni climatiche

Albedo. Le ripercussioni di questa perdita di ghiaccio vanno molto al di là dell'Artico. Il ritiro dei ghiacci sta già causando effetti di retroazione che interessano l'intero pianeta. Innanzitutto, la perdita di ghiaccio marino (che in estate riflette circa il 60 per cento della radiazione solare incidente) e il suo essere rimpiazzato da acqua libera da ghiaccio (che riflette meno del 10 per cento) sta causando un forte surriscaldamento della regione artica per effetto della retroazione «ghiaccio-albedo» che, è stato stimato, aumenta globalmente del 25 per cento gli effetti diretti delle emissioni di gas serra. Ma questo non è tutto. Poiché le acque libere da ghiaccio dell'Artico in estate si riscaldano, a loro volta riscaldano l'aria soprastante, la quale si diffonde nelle terre vicine. Questo, a sua volta, causa la fusione accelerata della neve nelle regioni terrestri dell'Artico. Oggi, in piena estate, le terre artiche coperte di neve sono diminuite di circa 6 milioni di km² rispetto a quattro decenni fa. Aree che credevamo di nevi perenni, come l'Alaska e la Siberia del Nord, sono oggi prive di neve. Queste terre assorbono più calore e scaldano ulteriormente l'Artico e il pianeta. Questo riscaldamento terrestre equivale a un ulteriore aumento del 20 per cento delle emissioni di CO₂. Da soli questi cicli di retroazione collegati al ghiaccio e alla neve stanno aumentando di circa la metà gli effetti diretti dell'aumento di CO₂ sul surriscaldamento globale. Tutto questo sta portando a retroazioni a cascata, in cui l'Artico diventa esso stesso un forzante del cambiamento climatico globale, piuttosto che solo qualcosa che risponde ad esso.

Aumento globale del livello dei mari. Un'altra grave conseguenza è che l'aria più calda sopra l'Artico in estate riscalda anche le temperatu-

re dell'aria della vicina calotta glaciale della Groenlandia. Fino agli anni Ottanta il ghiaccio della Groenlandia non ha sperimentato una significativa fusione estiva. Poi la fusione è iniziata a basse altitudini, mentre ora si estende a tutta la calotta: a luglio 2012 interessava il 97 per cento dell'intera superficie. L'acqua del disgelo non rimane semplicemente sulla superficie per poi raffreddarsi in autunno. Si tuffa giù dalla calotta di ghiaccio attraverso enormi fori chiamati «mulini», può lubrificare il letto della calotta e accelerare lo spostamento dei ghiacciai, raddoppiandone la velocità in alcuni casi e aumentando il numero di iceberg che si depositano nell'oceano. Può anche scorrere via in flussi violenti, veri e propri fiumi.

A causa di tutti questi processi la Groenlandia rappresenta oggi il principale singolo contributo all'innalzamento del livello globale dei mari, riversando ogni anno qualcosa come 300 km³ di acqua nell'oceano. Il 1° agosto 2019 mi trovavo sulla calotta glaciale della Groenlandia in un giorno in cui la fusione del ghiaccio aveva raggiunto il valore più alto mai registrato in una singola giornata: 12,5 miliardi di tonnellate. Uno degli aspetti più impressionanti era la prevalenza di «ghiaccio nero». Nel periodo di lenta accumulazione durato centinaia di anni la calotta di ghiaccio raccoglie lo sporco e la polvere dall'atmosfera da cui la neve cade, e se il ghiaccio fonde velocemente l'acqua scorre via mentre i residui rimangono sulla superficie, rendendola scura e fangosa, naturalmente riducendo l'albedo e accelerando ancora di più la fusione.

Le basse stime di aumento del livello dei mari che sono state prodotte dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (Ipc) per la fine del secolo sono in procinto di essere riviste al rialzo, con serie implicazioni per i decisori politici che devono pianificare la difesa di città come Miami, New Orleans, Londra, Venezia, Shanghai, o linee costiere densamente popolate e prive di protezioni come il Bangladesh. Anche la calotta antartica sta iniziando a rilasciare flussi di acqua di fusione, al momento circa 80 km³ all'anno. L'aumento del livello dei mari è inarrestabile, a causa di processi che interessano la calotta di ghiaccio che sono molto lenti da cambiare o invertire, mentre l'aumento della temperatura dell'aria in teoria può essere ridotto o invertito rapidamente. Pertanto dovremmo tenere ben distinti questi due effetti e non pensare che se riduciamo il riscaldamento globale riduciamo o fermiamo anche l'innalzamento del livello dei mari.

Il rilascio del metano. La retroazione più grave di tutte, che potrebbe portare a effetti catastrofici in un futuro molto prossimo, ha a che

fare con il rilascio di metano dai fondali marini della piattaforma continentale dell'Oceano Artico. Quest'ultimo è un oceano diverso dagli altri, poiché raggiunge profondità abissali di più di 4 mila metri ma è circondato da mari di piattaforma continentale profondi solo 50 o 100 metri. La maggior parte di questi (il Mare della Siberia orientale, i mari di Kara, di Laptev e di Barents) si trovano nella Siberia del Nord. Fino al 2005 circa la maggior parte delle piattaforme continentali era coperta anche in estate di ghiaccio marino, che agiva come un impianto di aria condizionata, impedendo alla temperatura dell'acqua di salire sopra lo zero. Quando una fonte di calore provava a riscaldare l'acqua, semplicemente fondeva più ghiaccio ma la temperatura restava al punto di congelamento. Allo stesso modo, le temperature dell'aria non potevano salire di molto al di sopra degli 0 °C perché se fosse successo l'aria sarebbe stata raffreddata a 0 °C grazie alla superficie di ghiaccio. È dunque sempre stato chiaro che la scomparsa in estate di ghiaccio marino dalle piattaforme sarebbe stata una fonte di instabilità per il **clima**.

Nel corso dell'ultimo decennio, il ghiaccio marino estivo si è ritirato dalle piattaforme continentali, consentendo all'acqua di riscaldarsi per l'intensa radiazione solare (temperature fino a 7 °C sono ora diventate normali). L'acqua più calda, estendendosi fino al fondale, scongela uno strato di permafrost⁵ sul fondale marino formatosi durante l'ultima era glaciale. Al di sotto vi è uno spesso strato di sedimenti che al suo interno contiene enormi quantità di metano nella forma di idrati di metano solidi; questi hanno una struttura cristallina simile a una gabbia in cui le molecole di metano sono circondate da ghiaccio. La diminuzione della pressione sovrastante permette agli idrati di disgregarsi e trasformarsi in metano gassoso, che risale in bolle lungo la colonna d'acqua per essere poi rilasciato in atmosfera. Questo rilascio sta già causando un aumento dei livelli globali di metano dopo che erano stati stazionari nei primi anni di questo secolo. Il timore è che una quantità molto maggiore di metano possa venire rilasciata dai sedimenti. Gli scienziati russi che stanno studiando le fuoriuscite in alto mare (cui si sono unite di recente spedizioni tedesche e svedesi) temono che potrebbero essere rilasciate di qui a pochi anni, a cominciare da tempi molto prossimi, fino a 50 gigatonnellate (miliardi di tonnellate) di metano (circa l'8 per cento di quello stimato essere presente nei sedimenti). Se questo dovesse accadere, i modelli dicono che virtualmente ci sarebbe un immediato riscaldamento di 0,6 °C, cui si accompagnerebbero costi enormi

2
9

⁵ Termine con cui si indicano le porzioni di suolo perennemente congelato.

per il pianeta. Questo aumento corrisponderebbe quasi al riscaldamento ($0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) già verificatosi a partire dalla rivoluzione industriale, sarebbe piuttosto improvviso e l'impatto peggiore sarebbe sui paesi più poveri. Il mio collega Chris Hope ha compiuto un'analisi basata sul modello utilizzato per il Rapporto Stern sul cambiamento climatico del 2006⁶ e ha concluso che l'80 per cento dei costi finanziari sarebbero sostenuti dai paesi del Terzo Mondo.

Qual è il rischio che un simile rilascio si verifichi? Molti scienziati ritengono sia basso, ma coloro che lo ritengono alto sono proprio gli scienziati che hanno compiuto la ricerca sul campo nel Mare della Siberia orientale. L'Ipcc ignora questo rischio, ma tiene conto del possibile effetto di scongelamento del permafrost sulla terraferma, che pure comporterebbe un'emissione di metano di simile entità, sebbene distribuita su qualche decennio.

30

Il nastro trasportatore globale. Altri due meccanismi di retroazione associati all'Artico che dovrebbero essere menzionati sono il declino, per la parte atlantica, della circolazione termoalina globale (Thermohaline circulation, Thc) e la possibilità di eventi meteorologici estremi. La Thc è la lenta circolazione oceanica globale generata dalle differenze di temperatura e salinità di diverse parti dell'oceano, talvolta nota anche come «nastro trasportatore globale». Nella parte settentrionale dell'Atlantico del Nord la corrente di superficie della Thc (che rafforza il flusso della corrente del Golfo scorrendo in direzione nord-est dai Caraibi verso la Norvegia) si inabissa nel fondale oceanico grazie a una serie di straordinari «camini», stretti cilindri rotanti di acqua che sprofonda, situati in una ristretta regione del Mare della Groenlandia. Questi camini sono creati dalla formazione di «pancake ice» (formato da piccoli pezzi di ghiaccio circolari), che in inverno aumenta rapidamente la salinità dell'acqua superficiale nel centro della corrente a vortice («gyre») del Mare di Groenlandia, rendendo instabile la colonna d'acqua; tuttavia questi camini hanno cessato di formarsi intorno al 1998 a causa del ritiro dei ghiacci. Si stima che il conseguente rallentamento della Thc causerà entro il 2100 un raffreddamento relativo di $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ del Regno Unito, dell'Islanda e del litorale dell'Europa occidentale (relativo perché va considerato il riscaldamento generale di $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ previsto per l'Europa in uno scenario futuro in cui

⁶ Lo studio (2006) commissionato dal ministero delle Finanze britannico all'ex vicepresidente e capo economista della Banca mondiale Nicholas Stern finalizzato ad analizzare da un punto di vista economico i cambiamenti climatici e le metodologie di mitigazione e di adattamento ai medesimi.

le emissioni continuano con il medesimo tasso odierno), mentre il calore perso si accumulerà nell'Atlantico tropicale causando un indubbio aumento della violenza degli uragani.

Eventi meteorologici estremi. Il problema degli eventi meteorologici estremi pone questioni anche più serie. A partire all'incirca dal 2005 le regioni alle medie latitudini dell'emisfero settentrionale, in particolare l'Europa e gli Stati Uniti, sono state colpite da eventi meteorologici estremi di freddo intenso, da forti ondate di calore e da violente tempeste, che stanno incidendo sulla produzione di cibo. La teoria sulle origini di questi eventi che chiama in causa il ghiaccio marino, proposta da Jennifer Francis (Rutgers University), ipotizza che la perdita di ghiaccio marino causi un cambiamento nella circolazione atmosferica alle alte latitudini producendo un rallentamento delle correnti a getto (i forti venti degli strati superiori dell'atmosfera che separano l'aria polare da quella subtropicale) e un conseguente aumento della loro ondulazione, con grandi movimenti sinuosi, ampi e lenti, da nord a sud. Ciò fa sì che l'aria dell'Artico penetri a latitudini inusualmente basse in certe zone del pianeta e al contempo che l'aria calda raggiunga latitudini insolitamente alte. Se le cose stessero così, gli eventi meteorologici violenti cui abbiamo assistito dal 2005 non sarebbero affatto eventi meteorologici ma veri e propri cambiamenti climatici e dovremo aspettarci il loro ripetersi ed esacerbarsi. L'Indice del prezzo globale del cibo dell'Onu, che tiene conto degli effetti degli impatti meteorologici sulla produzione di cibo, ha già registrato una serie di picchi sempre più alti (100 nel 2000, 250 nel 2008), ciascuno associato a disordini in città del Terzo Mondo, dove gli abitanti hanno dovuto pagare molto di più gli alimenti.

**3
1**

Un segnale d'allarme

In questa storia di sconforto apparentemente ininterrotto vorrei che il mio fosse più un segnale di allarme che una dichiarazione di disperazione. Le evidenze degli ultimi anni ci dicono che l'Artico è profondamente coinvolto nella catastrofe climatica globale in corso, più di quanto pensassimo: i meccanismi di retroazione sopra descritti mostrano che il ghiaccio dell'Artico, o meglio la sua mancanza, è parte di una vasta catena globale di retroazioni. Ritengo anche che questo rinforzi le conclusioni di molti scienziati: limitare il riscaldamento globale a 2 °C rispetto ai livelli pre-industriali co-

me previsto dagli accordi di Parigi del 2015 (o addirittura a 1,5 °C, pia speranza) è irrealistico fintanto che sono considerate solo le riduzioni di emissioni di CO₂. Le riduzioni non funzioneranno, perché la CO₂ permane a lungo nel sistema climatico (una recente stima dice 30 mila anni) e quindi mentre emissioni di qualsiasi tipo ne alzano il livello, le riduzioni hanno un effetto di controbilanciamento molto piccolo. Ciò significa che se riduciamo le emissioni ci arrostitiamo più lentamente, ma continuiamo ad arrostitirci. Abbiamo già troppa CO₂, che sta portando il riscaldamento globale ben al di sopra dell'aumento di 2 °C, a dispetto dei nostri sforzi.

Due sono le strade possibili, data la nostra incapacità di controllare adeguatamente le emissioni. Un cerotto sul riscaldamento globale può essere applicato attraverso il dispiegamento di tecniche di geoingegneria, come lanciare aerosol (riflettenti) nella parte superiore dell'atmosfera, o lo schiarimento delle nuvole marine (attraverso particelle d'acqua iniettate nelle nuvole per aumentare la loro albedo). Tecnologie che, aumentando la frazione di radiazione solare incidente che viene riflessa, affrontano il problema dell'innalzamento della temperatura ma non diminuiscono la CO₂ e altri effetti a essa correlati come l'acidificazione degli oceani.

Ma il cerotto può anche essere solo preludio alla soluzione reale: la vera e propria rimozione dell'anidride carbonica dall'atmosfera. Unico metodo che può eliminare la causa principale del riscaldamento globale e quindi salvarci da conseguenze rese sempre più gravi dall'andamento esponenziale delle retroazioni. Tra le varie tecniche di rimozione del carbonio proposte (inclusa la riforestazione) quella che ha le migliori prospettive di funzionamento a velocità e scala adeguate è la cattura diretta della CO₂ dall'atmosfera. In altri termini, dobbiamo trovare un modo, economicamente sostenibile, di pompare aria attraverso un dispositivo che ne rimuova il contenuto di CO₂. Come fare? Diverse sostanze chimiche, come ad esempio le ammine, possono svolgere questo lavoro, ma al momento i costi risultano troppo alti. Come ridurli allora? Con un imponente programma di ricerca, forse della grandezza del Progetto Manhattan⁷, che dovrebbe essere, a parer mio, il più importante obiettivo della scienza e della tecnologia, tanta è l'urgenza.

La differenza che passa tra il successo o il fallimento di questo progetto equivale alla differenza tra la prospettiva di un futuro per

⁷ Il progetto Manhattan è stato un grande programma di ricerca e sviluppo nucleare in ambito militare che portò alla realizzazione delle prime bombe atomiche durante la seconda guerra mondiale. Il progetto coinvolse più di 130 mila persone e vi furono investiti circa 2 miliardi di dollari.

il genere umano e la certezza di una discesa verso il caos. Pertanto i potenziali salvatori del pianeta sono le piccole compagnie che stanno svolgendo il lavoro di ricerca e innovazione sulla cattura diretta della CO₂ e che, pur in assenza di quell'investimento governativo di cui ci sarebbe davvero bisogno, stanno aprendo impianti sperimentali (come quello recentemente inaugurato da Climeworks in Islanda e quello realizzato da Carbon Engineering a Squamish, nella Columbia britannica). In Italia Climeworks ha aperto un impianto a Troia, in provincia di Foggia, dove la ricerca e lo sviluppo sulla conversione di CO₂ in carburanti sono condotti insieme al Politecnico di Torino. Uno dei problemi è che l'umanità sta immettendo 42 gigatonnellate di CO₂ nell'atmosfera ogni anno e se vorremo rimuoverla dovremo mettere il residuo da qualche parte: Climeworks lo immette all'interno di caverne al di sotto dell'Islanda, mentre una compagnia della California, Blue Planet Ltd., lo converte in rocce artificiali di calcare che possono essere usate nelle costruzioni o per produrre cemento e sabbia.

Nella mia vita professionale ho assistito alla trasformazione del tetto del mondo: da una magnifica distesa selvaggia intrappolata nel ghiaccio a una regione ora caratterizzata da riscaldamento e fusione su tutti i fronti. Questi cambiamenti rappresentano un impoverimento spirituale della Terra, oltre che una catastrofe reale per l'umanità. Il momento per un'azione urgente è adesso. Dobbiamo, tristemente, dire addio ai ghiacci. Ma se adottiamo con convinzione le tecniche di cattura diretta della CO₂ dall'aria possiamo almeno preservare un **clima** sostenibile per l'umanità.

(traduzione dall'inglese di Francesco Suman)

3
3