

AUTO RICERCA

L'identità di Kaya: comprendere e affrontare i problemi climatici

Massimiliano Sassoli de Bianchi

Numero 26

Anno 2023

Pagine 77-93

 LAB

Riassunto

Yoichi Kaya era un economista giapponese, studioso di politiche energetiche. In questo articolo vi parlo della sua famosa equazione, o identità, che scrisse circa una trentina d'anni fa. L'equazione è molto semplice da derivare, cosa che faremo assieme. Non permette, ovviamente, di risolvere i problemi climatici, ma aiuta a mettere meglio a fuoco le sfide che dobbiamo affrontare, mettendo in evidenza le grandezze fondamentali su cui possiamo operare. Ispirandomi a un'analisi di *Cédric Ringenbach*, vi mostrerò anche come sia possibile raffinare l'equazione di Kaya, prendendo in considerazione la questione fondamentale degli sprechi, che abbiamo interesse a ridurre in modo sostanziale se vogliamo riuscire a modificare il nostro portafoglio energetico, passando a fonti con minore emissione di gas a effetto serra.

Derivare l'equazione di Kaya

Yoichi Kaya era un economista giapponese, studioso di politiche energetiche. Desidero parlarvi della sua equazione, che scrisse circa una trentina d'anni fa.¹

Come si deriva l'equazione di Kaya? È molto facile, si parte da una tautologia:

$$X = X$$

Denotiamo poi *GES* l'emissione totale di gas a effetto serra nel mondo, in un anno:

$GES \equiv$ emissione totale nel mondo in un anno di gas a effetto serra
--

Possiamo porre:

$$X = GES$$

e la precedente identità diventa:

$$GES = GES$$

Fin qui le cose sono davvero triviali e sicuramente vi chiederete che cosa ci facciamo con un'equazione banale come questa.

Facciamo un ulteriore passo avanti. Denotiamo ora *CEN* il consumo energetico totale nel mondo, sempre in un anno:

$CEN \equiv$ consumo energetico totale nel mondo in un anno
--

Poiché è diverso da zero, possiamo dividere per *CEN*, quindi scrivere l'identità:

¹ Kaya, Y. & Yokoburi, K. (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability: Tokyo conference on Global Environment, Energy and Economic Development (1993)*, United Nations Univ. Press, Tokyo, 1997, 381 pagine.

$$\frac{CEN}{CEN} = 1$$

Possiamo a questo punto moltiplicare a destra la precedente equazione per 1, cioè per CEN diviso CEN , perché moltiplicare per 1 non cambia nulla. Stiamo sempre dicendo delle cose ovvie. Otteniamo quindi che:

$$GES = \frac{GES}{CEN} \times CEN$$

In questo modo abbiamo messo in evidenza il rapporto GES diviso CEN , e capiremo in seguito perché è utile farlo. Al momento proseguiamo.

Denotiamo PIL il *prodotto interno lordo mondiale*, in un anno.

$PIL \equiv$ prodotto interno
lordo mondiale in un anno

Di nuovo, essendo diverso da zero, possiamo moltiplicare e dividere per il PIL , a destra dell'equazione. Se lo facciamo, possiamo mettere in evidenza un nuovo rapporto, CEN diviso PIL , e anche qui, capiremo in seguito perché è utile farlo:

$$GES = \frac{GES}{CEN} \times \frac{CEN}{PIL} \times PIL$$

Infine, denotiamo POP la *popolazione mondiale*.

$POP \equiv$ popolazione mondiale

Ancora una volta, essendo tale popolazione differente da zero, possiamo moltiplicare e dividere a destra per POP , mettendo in evidenza un terzo rapporto, PIL diviso POP . In questo modo, otteniamo la famosa *equazione* (o identità) di Yoichi Kaya.

$$GES = \frac{GES}{CEN} \times \frac{CEN}{PIL} \times \frac{PIL}{POP} \times POP$$

Utilizzare l'equazione di Kaya

Questa equazione ci racconta che i *GES*, cioè le emissioni totali nel mondo, in un anno, di gas a effetto serra, sono date dal prodotto di 4 termini, che hanno una valenza particolare.

Perché mai una tale equazione, ottenuta con questi passaggi elementari, sarebbe interessante? Ora provo a spiegarvelo. Alcuni di voi avranno sentito parlare della necessità di ridurre notevolmente le emissioni, da qui al 2050, se vogliamo evitare gli effetti più nefasti del riscaldamento globale. Possiamo dire, per fissare le idee, che la diminuzione deve essere di almeno un fattore 3.²

$$GES \rightarrow \frac{GES}{3}$$

Non desidero qui entrare nella polemica di sapere in che misura il cambiamento climatico sia unicamente un risultato dell'attività umana più recente, o se invece sarebbe dovuto anche, o soprattutto, a un ciclo di cambiamenti naturali. Anche perché, che l'attività umana sia causa principale o secondaria dei mutamenti cui assistiamo, è comunque un accelerante dell'evoluzione in corso, quindi, quello che faremo o non faremo negli anni a venire ci permetterà sicuramente di guadagnare o perdere del tempo utile, ma di questo parleremo meglio in seguito.

Dunque, abbiamo bisogno di una diminuzione di un fattore 3,

² Vedi i diversi rapporti del *Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico* (<https://www.ipcc.ch>), il foro scientifico formato nel 1988 da due organismi delle Nazioni Unite, l'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) e il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) allo scopo di studiare il riscaldamento globale. Il dato prudenziale di una diminuzione delle emissioni di un fattore 3 viene suggerito da *Jean-Marc Jancovici* (<https://jancovici.com>), docente e ingegnere francese creatore dell'impronta di carbonio, un insieme di metodi volti a misurare e tracciare la quantità di gas a effetto serra emessi da un'organizzazione. Non è chiaro per chi scrive se la divisione per 3 sia sufficiente o meno, ma non è ovviamente questo un punto importante della nostra analisi, poiché quello che qui ci interessa è il ragionamento, che potrà poi essere facilmente adattato all'evoluzione delle diverse stime disponibili.

in circa 30 anni, di emissioni di *GES*, il che corrisponde a una diminuzione di circa il 3,6% all'anno. Infatti, ridurre le emissioni di gas a effetto serra del 3,6% equivale a produrre non il 100% ma il 100% meno il 3,6%, cioè:

$$(100 - 3,6)\% = 96,4\% = 0,964$$

Se eleviamo 0,964 alla potenza 30, per contabilizzare che questa diminuzione avviene per 30 anni consecutivi, otteniamo che

$$(0,964)^{30} \approx 0,333 \approx \frac{1}{3}$$

Dunque, come fare per ottenere questo abbattimento delle emissioni di *GES*? Se guardiamo l'equazione di Kaya, abbiamo quattro fattori su cui possiamo intervenire.

L'ultimo a destra è quello della popolazione mondiale (*POP*). Ovviamente, un modo molto rapido per ottenere un abbattimento di un fattore 3 dei *GES* sarebbe quello di ridurre di un terzo il fattore *POP*, cioè ridurre di un terzo la popolazione mondiale. Che dire, speriamo di non attivare, nostro malgrado, delle soluzioni di questo tipo, ad esempio tramite carestie, malattie, ecc.

A dire il vero, escludendo eventi anomali, come ad esempio delle meteoriti assassine, o un conflitto nucleare mondiale (quest'ultima possibilità non è stata purtroppo assolutamente disinnescata, anzi), *POP* continuerà ad aumentare nei prossimi 30 anni. Secondo alcune stime, aumenterà del 25%, quindi di un fattore 1,25. Ne consegue che se vogliamo diminuire di un fattore 3 i *GES*, ma prendiamo anche in considerazione che la popolazione mondiale aumenterà di un fattore 1,25, dal momento che

$$3 \times 1,25 = 3,75$$

otteniamo che dobbiamo diminuire i *GES* non di un fattore 3, ma di un fattore 3,75.

Quindi, bisogna che i tre fattori restanti a destra dell'equazione di Kaya possano complessivamente diminuire in modo tale da portare a un cambiamento dei *GES* tale da permettere di passare dagli attuali *GES*, a un'emissione pari a *GES* diviso 3,75, nei prossimi 30 anni:

$$GES \rightarrow \frac{GES}{3,75}$$

A questo punto, non ci resta che andare a vedere cosa sono questi tre fattori. Il primo,

$$\frac{GES}{CEN}$$

altro non è il *contenuto in gas a effetto serra* (soprattutto la CO₂, essendo ovviamente il principale) *per unità di energia consumata*.

Il secondo fattore

$$\frac{CEN}{PIL}$$

è una sorta di *intensità energetica*, nel senso che quantifica il contenuto di energia per unità di produzione di beni e servizi, e se tale unità viene misurata ad esempio in dollari, diventa il contenuto in energia per ogni dollaro prodotto, cioè ci dice quante unità di energia dobbiamo consumare per produrre una unità monetaria.

Infine, il terzo fattore

$$\frac{PIL}{POP}$$

è il *PIL per abitante*, cioè, potremmo dire, la *remunerazione media per abitante*, o ancora, il livello di vita medio, o ricchezza media, per abitante.

Bene, se mi avete seguito fino a qui, possiamo chiederci: *Cosa possiamo fare?* Una possibilità è decidere di ridurre drasticamente il livello di vita, così come misurato tramite lo strumento del *PIL*. Cosa ne pensate? Beh, non è certamente evidente farlo, e a dire il vero, si cerca solitamente di andare nella direzione opposta, si cerca cioè di aumentarlo, anziché diminuirlo, ad esempio per salvare i sistemi pensionistici, e cose di questo genere. La parola d'ordine, solitamente, è crescita, crescita, e ancora più crescita...

Qui dovrei aprire una parentesi per dire che questo aumento del *PIL* si riferisce solo alla crescita della produzione di prodotti e servizi, senza però contare l'irreversibile scomparsa delle risorse non rinnovabili utilizzate per permettere tale produzione, come i minerali, i combustibili fossili, eccetera. Se tenessimo conto anche di questo fattore nella definizione del *PIL*, cioè della distruzione delle risorse naturali, allora, tecnicamente parlando, saremmo già in

una situazione di decrescita... ma questa è un'altra storia.

Ora, se supponiamo che l'aumento del livello di vita è in media del 2% all'anno, in 30 anni otteniamo, approssimativamente, una crescita di un fattore 1,8. Infatti,

$$(1,02)^{30} \approx 1,81$$

Quindi, se la popolazione mondiale aumenta di un fattore 1,25, e la ricchezza media per abitante aumenta di un fattore 1,8, otteniamo per queste due quantità un fattore complessivo che vale approssimativamente 2,25. Infatti

$$1,25 \times 1,8 = 2,25$$

e poiché

$$3 \times 2,25 = 6,75$$

otteniamo che i due fattori restanti nella formula di Kaya dovrebbero diminuire complessivamente di circa un fattore 7, nei prossimi 30 anni. Stiamo un po' più larghi, per stare dalla parte dei bottoni, e supponiamo che il fattore di diminuzione sia un fattore 8, anche perché stiamo qui ragionando in termini indicativi.

Consideriamo a questo punto l'intensità energetica dell'economia, il rapporto *CEN* su *PIL*. Possiamo osservare che dall'inizio dell'era industriale non ha mai cessato di diminuire, perché l'efficacia dell'economia non ha mai cessato di crescere. In altre parole, nel tempo bisogna utilizzare sempre meno energia per produrre 1 dollaro di *PIL*.

Per restare ottimisti, supponiamo che nei prossimi 30 anni vi sia un ulteriore abbassamento di un fattore 2,

$$\frac{CEN}{PIL} \rightarrow \frac{1}{2} \times \frac{CEN}{PIL}$$

perché naturalmente più si va avanti e più diventa difficile ridurre l'intensità energetica dell'economia. Pensate alle lampadine. Abbiamo abbattuto il loro consumo, passando ad esempio alla tecnologia dei led, ma ora diventa pressoché impossibile scendere ulteriormente. Ovviamente, in certi settori i margini sono ancora ampi, come quello dell'isolazione delle costruzioni abitative, per fare un esempio significativo.

A questo punto, rimaniamo con l'ultimo fattore, il rapporto *GES*

su *CEN*, cioè il contenuto in gas a effetto serra per unità di energia consumata, che considerando il dimezzamento ipotizzato del precedente fattore, dell'intensità energetica dell'economia, deve poter diminuire di almeno un fattore 4. Come fare?

Qui l'osservazione è che per un dato consumo energetico, le emissioni di *GES*, soprattutto la CO₂, dipenderanno fortemente dalla ripartizione delle fonti energetiche che decideremo di utilizzare. A titolo informativo, la maggior parte dell'energia che consumiamo nel mondo emette *GES* in grande abbondanza. Pensate alle energie fossili, che a tutt'oggi contribuiscono a più dell'80% dell'approvvigionamento mondiale, con una tendenza che al momento non è certo verso una diminuzione.

Ovviamente, l'unico modo per ridurre il contenuto di *GES* dell'energia è di aumentare significativamente la quota di energie senza *GES*, le cosiddette rinnovabili, e il nucleare.

A proposito, solitamente si include tra le rinnovabili anche la legna da ardere, ma va considerata rinnovabile solo quando viene realmente rinnovata, cioè quando le foreste vengono ripiantate, e purtroppo raramente ciò avviene.

Ora, quello che possiamo osservare è che storicamente non ci sono state forme di energia che hanno rimpiazzato altre forme di energia, quanto piuttosto nuove forme di energia che si sono aggiunte simbioticamente alle precedenti. Ad esempio, il petrolio non ha in nessun modo rimpiazzato il carbone, dal momento che il consumo su scala globale di quest'ultimo continua ad aumentare. E paesi come Stati Uniti, Russia, Cina, India e Australia, che sono i maggiori produttori di carbone, sono anche i maggiori consumatori di carbone. Il carbone è infatti un'energia che viaggia molto poco, e va anche considerato che i 2/3 circa della consumazione di carbone vengono ancora oggi utilizzati per la produzione di elettricità.

Ora, come si convince un paese produttore di carbone, che utilizza il suo stesso carbone, a smettere di farlo? Ovviamente, per impedire a un paese di utilizzare la propria ricchezza, bisognerebbe ipotizzare delle forme di compensazioni finanziaria. E se pensiamo alla situazione geopolitica e geoeconomica attuale, è ovviamente un problema non da poco.

Riassumendo, abbiamo derivato un'equazione, molto semplice, per certi versi triviale, poiché ottenuta tramite operazioni elementari

di moltiplicazione e divisione per una medesima quantità. Tutte le quantità che appaiono in essa volendo si semplificano, ma è interessante per l'appunto non farlo, perché non facendolo si possono evidenziare quegli elementi dell'economia globale sui quali sarebbe possibile agire per ridurre le emissioni.

In altre parole, l'equazione, pur non risolvendo i problemi climatici, permette di mettere a fuoco le sfide dobbiamo affrontare, mettendo in evidenza 4 fattori fondamentali. Di questi, il quarto ha a che fare con le competenze della demografia, cioè della scienza che studia l'evoluzione delle popolazioni, e speriamo che la soluzione del problema climatico non avvenga tramite una riduzione drastica di questo quarto fattore. Il terzo fattore ha a che fare con i modelli politici, economici e sociali, cioè con come viene calcolata la vera ricchezza di una popolazione. Il primo e secondo fattore sono invece, potremmo dire, il regno degli ingegneri.

Modificare l'equazione di Kaya

Ispirandomi a un'analisi dell'ingegnere e specialista del cambiamento climatico *Cédric Ringenbach*, vorrei ora spingere un pochettino oltre il nostro ragionamento, raffinando ulteriormente l'equazione di Kaya. Quello che possiamo osservare è che nell'equazione di Kaya non si fa distinzione tra *produzione* e *consumo*. In un certo senso, abbiamo ragionato dando per scontato che tutto quello che viene prodotto viene anche consumato, ma ovviamente non è così, molto di quello che viene prodotto viene anche sprecato, cioè produciamo molto di più di quanto consumiamo.

Possiamo fare apparire nell'equazione questa discrepanza tra produzione e consumazione. Per farlo, definiamo con la sigla *CIL* il *consumo interno lordo mondiale* in un anno

$CIL = \text{consumo interno lordo mondiale in un anno}$
--

Essendo tale consumo differente da zero, possiamo moltiplicare l'equazione di Kaya, a destra, per *CIL* diviso *CIL*. Inserendo questo

fattore unitario tra il secondo e terzo fattore, otteniamo:

$$GES = \frac{GES}{CEN} \times \frac{CEN}{PIL} \times \frac{CIL}{CIL} \times \frac{PIL}{POP} \times POP$$

Permutando al numeratore CIL con PIL , arriviamo all'identità:

$$GES = \frac{GES}{CEN} \times \frac{CEN}{PIL} \times \frac{PIL}{CIL} \times \frac{CIL}{POP} \times POP$$

Abbiamo in questo modo splittato il precedente fattore, PIL su POP , cioè il PIL per abitante, nel prodotto dei seguenti due fattori:

$$\frac{PIL}{POP} = \frac{PIL}{CIL} \times \frac{CIL}{POP}$$

Il rapporto CIL su POP è il *consumo* interno lordo per abitante, cioè la ricchezza realmente utilizzata per abitante, e PIL su CIL è il rapporto tra produzione e consumo, che necessariamente è un numero superiore a 1, poiché non possiamo consumare più di quanto produciamo. Di fatto, è un numero solitamente ampiamente superiore a 1, poiché sprechiamo una parte sostanziale di quello che produciamo.

Più precisamente, se denotiamo SIL lo *spreco interno lordo* mondiale in un anno

$SIL = \text{spreco interno} \\ \text{lordo mondiale in un anno}$

possiamo scrivere PIL su CIL nella seguente forma:

$$\frac{PIL}{CIL} = \frac{PIL}{PIL - SIL} = \frac{1}{1 - S_{\%}}$$

mettendo così in evidenza lo spreco $S_{\%}$, espresso in termini percentuali

$$S_{\%} = \frac{SIL}{PIL}$$

cioè come rapporto tra SIL e PIL , tra spreco interno lordo e prodotto interno lordo.

Con questa riscrittura, l'equazione di Kaya diventa infine:

$$GES = \frac{GES}{CEN} \times \frac{CEN}{PIL} \times \left(\frac{1}{1 - S_{\%}} \right) \times \frac{CIL}{POP} \times POP$$

Per capire quanto siano importanti questi sprechi, possiamo considerare i diversi settori di attività umana, come ad esempio quello dell'*agricoltura*. Nell'*agricoltura*, $S_{\%}$ può essere stimato al 30%, il che significa che il fattore tra parentesi nell'equazione, vale:

$$\frac{1}{1 - S_{\%}} = \frac{1}{1 - 0,3} = \frac{1}{0,7} \approx 1,43$$

Quindi, eliminare gli sprechi in *agricoltura* ($S_{\%} = 0$), significa abbassare l'emissione di gas a effetto serra relativi a quel settore del 30% circa, poiché

$$\begin{aligned} & \frac{GES(S_{\%} = 30\%) - GES(S_{\%} = 0\%)}{GES(S_{\%} = 30\%)} = \\ & = \frac{1,43 - 1}{1,43} = \frac{0,43}{1,43} \approx 0,3 = 30\% \end{aligned}$$

Naturalmente, tale abbattimento sarebbe molto più importante se la popolazione modificasse la propria dieta alimentare, ad esempio riducendo l'apporto complessivo di proteine animali a favore di quelle vegetali.

Ma consideriamo ora il settore dei *trasporti*. Qui gli sprechi sono relativi al fatto che lo spostamento delle persone e delle merci non corrisponde allo spostamento dei veicoli, in quanto i veicoli non viaggiano ottimizzando le loro capacità in termini di riempimento. Pensiamo a delle persone che viaggiano con due auto differenti, per andare nello stesso posto, quando una sola auto sarebbe stata sufficiente, o a un camion che torna vuoto dopo una consegna. Qui possiamo ipotizzare, conservativamente, uno spreco relativo del 50%, quindi

$$\frac{1}{1 - S_{\%}} = \frac{1}{1 - 0,5} = \frac{1}{0,5} = 2$$

In altre parole, ottimizzando i trasporti possiamo abbassare l'emissione di gas a effetto serra relativi a quel settore del 50% circa:

$$\frac{2 - 1}{2} = \frac{1}{2} \approx 0,5 = 50\%$$

Pensiamo ora al settore *industriale*, che fabbrica essenzialmente oggetti. Qui gli sprechi possono essere intesi come espressione del fatto che i diversi oggetti vengono usati per meno tempo rispetto alla loro durata di vita, attuale o potenziale. Attuale nel senso che spesso ci sbarazziamo di oggetti che funzionano ancora, potenziale perché da parte dei fabbricanti c'è la tendenza a promuovere un'*obsolescenza programmata*. Anche in questo caso, ottimizzando la durata di vita dei prodotti, è sicuramente possibile abbattere di almeno il 50% l'emissione di gas a effetto serra relativi al settore dell'industria.

Poi, c'è il settore della *costruzione*, e anche qui ci sono gli sprechi relativi ai metri quadrati occupati rispetto ai metri quadrati prodotti, quindi il tema del tasso di occupazione degli edifici, ma anche, ovviamente, il tema gli sprechi energetici dovuti all'insufficiente isolamento degli edifici.

Non mi spingo oltre, ma lo avete capito, ci sono numerose vie di intervento, prima ancora di intervenire massicciamente al livello delle energie rinnovabili, se lavoriamo diligentemente sul tema degli sprechi, cioè sul differenziale tra ciò di cui abbiamo realmente bisogno e ciò che di fatto produciamo, generando innumerevoli sprechi, essenzialmente per questioni di un'organizzazione insufficiente delle nostre economie, e per avidità.

Ma riguardiamo ancora una volta l'equazione di Kaya nella sua forma modificata. Leggendo da destra a sinistra, possiamo osservare che, per preservare la popolazione terrestre, cioè il fattore *POP*, e mantenere un sufficiente livello di comfort, cioè il fattore *CIL* su *POP*, dobbiamo cominciare a migliorare quegli aspetti che sono i più semplici da migliorare, in tempi brevi, e su larga scala, ovvero ridurre il fattore degli sprechi, e questo favorirà poi anche l'inevitabile transizione energetica verso forme di energia con un contenuto inferiore in termini di gas a effetto serra.

Infatti, se cominciamo a ridurre considerevolmente la produzione energetica, grazie a una riduzione considerevole degli sprechi, saremo poi anche in grado di eliminare più facilmente dal nostro portafoglio energetico buona parte di quelle fonti energetiche che hanno un forte contenuto in gas a effetto serra, innescando in questo modo un circolo virtuoso.

Riflessioni conclusive

Se guardiamo l'evoluzione del nostro clima su scale di tempo molto ampie, il problema del cambiamento climatico è del tutto relativo: la vita troverà sempre un modo per adattarsi. Perché non è la vita ad essere minacciata dal cambiamento climatico, e nemmeno il pianeta ovviamente, ma l'esistenza di milioni di persone, che dovranno abbandonare regioni del pianeta dove si morirà, ad esempio a causa della combinazione letale di "temperatura elevata" e "umidità elevata" (effetto hammam).

A dire il vero, già da oggi abbiamo interesse a non più costruire in zone dove si sa che ci saranno in futuro condizioni non più sostenibili per gli esseri umani, o a non più promuovere produzioni agricole su terreni che verranno sempre più frequentemente inondati, eccetera. Cioè, abbiamo interesse sin da ora a pianificare anche in funzione della riconfigurazione planetaria che si prospetta, considerando il nostro attuale immobilismo.

Se non riusciamo a fare qualcosa, ci saranno interi popoli che si metteranno in cammino, con conseguenti problemi sanitari, carestie, guerre, e ci sarà molta sofferenza; una sofferenza che si potrebbe in buona parte evitare.

Quello che abbiamo fatto sino ad oggi è poco o nulla, e quello che faremo, se continuiamo così, servirà a poco o nulla. Così, alla fine, a prescindere da chi avrà avuto ragione sulle vere cause dei mutamenti climatici, ci sarà un costo altissimo da pagare, per adattarci alle nuove condizioni.

Ora, sia ben chiaro, quello che accadrà nei prossimi anni è in qualche modo già definito, nel senso che quello che faremo a partire da oggi avrà un'influenza solo su quello che accadrà fra una ventina

d'anni circa, a causa della forte inerzia del sistema. Dobbiamo quindi sviluppare un pensiero compassionevole nei confronti delle prossime generazioni, dei nostri figli e nipoti, in senso lato, e dobbiamo avere sufficiente fiducia che quello che possiamo fare, e che non stiamo facendo, sia davvero in grado di produrre gli effetti voluti. In altre parole, c'è bisogno di molta fiducia nei modelli predittivi esistenti.

Questo non è assolutamente evidente, essendoci oggi un'enorme disaffezione nei confronti della comunità scientifica, che ha perso molta della sua credibilità negli anni, mancando di dimostrare di essere realmente *super partes*. Troppo spesso i suoi membri hanno venduto la loro anima a interessi e logiche che nulla hanno a che vedere con la ricerca della verità e di soluzioni realmente efficaci nel risolvere i problemi che ci affliggono.

Lo abbiamo visto in modo tragico proprio in quest'ultima crisi sanitaria. Se è stato per noi un test, per vedere come reagisce l'umanità di fronte a una crisi planetaria, ebbene abbiamo tristemente fallito.³ Invece di mettere in atto delle soluzioni davvero in grado di fare la differenza, abbiamo promosso misure non solo inefficaci ma anche inutilmente liberticide e generalmente anticostituzionali.

Dobbiamo rimanere all'erta e non credere ciecamente a tutto quello che sentiamo, ma nemmeno dobbiamo gettare il bebè con l'acqua sporca. Non è più possibile sostenere oggi che la nostra attività umana non stia pesantemente sregolando il clima su scala planetaria. Sappiamo infatti che il forte aumento osservato della quantità di anidride carbonica nell'atmosfera, che è uno dei maggiori gas ad effetto serra, è dovuto primariamente all'attività umana. Come lo sappiamo? Semplicemente perché possiamo osservare la sua "impronta isotopica", che ci rivela che la sua origine primaria sono i combustibili fossili, non le fonti naturali come gli incendi, i vulcani, il degassamento degli oceani.

Nemmeno possiamo oggi sostenere che sarebbe il Sole la causa primaria di tutto il riscaldamento. Perché le misurazioni satellitari effettuate negli ultimi decenni mostrano che la produzione di energia del Sole non è aumentata, ma semmai diminuita.

La ricerca scientifica avanza per ipotesi e spiegazioni. Ad ogni

³ Vedi ad esempio *AutoRicerca, Numero 25, Anno 2022*.

tappa del suo cammino, “vince” la spiegazione migliore, quella che ha maggiore potere esplicativo, e di conseguenza predittivo, in considerazione dei dati osservativi disponibili. Di tutti i dati, non solo di quelli che ci fanno comodo.

Al momento, la migliore spiegazione che abbiamo è che l'attività umana sia la causa primaria delle modifiche climatiche che stiamo misurando. E purtroppo queste modifiche non si manifesteranno negli anni a venire in modo graduale, come quando aumentiamo piano piano la temperatura dell'acqua in un pentolino. Essendo il sistema terra governato da equazioni non lineari, e avendo ormai abbandonando il dominio delle risposte lineari, avverrà probabilmente tramite sobbalzi, che potranno essere anche piuttosto bruschi.

Ci sono infatti innumerevoli anelli retroattivi che operano come degli amplificatori; anelli che abbiamo già attivato. Pensate al permafrost, che sciogliendosi è in grado di liberare enormi quantità di gas a effetto serra, anche a causa dei microbi che racchiude, che riproducendosi produrranno grosse quantità di metano. Pensate alla perdita delle superfici bianche, nevose, che prima riflettevano la luce, che una volta sciolte non lo faranno più. Sono solo degli esempi.

Per quanto attiene ai fenomeni meteorologici sempre più estremi, pensate al fatto che aumentando la temperatura, aumenta considerevolmente anche l'umidità dell'aria, che a sua volta provoca più piogge, ma anche, paradossalmente, più siccità, perché l'aria, se più calda, è in grado di assorbire più acqua. Ci sarebbero molte altre cose da aggiungere, ma mi fermo qui, anche perché chi scrive non è certamente un esperto di questioni climatiche.

Riassumendo, non sarà facile, ma non dobbiamo perderci di coraggio. Ogni singola persona può fare la differenza. Cerchiamo di attuare le soluzioni davvero percorribili. Ogni paese dovrebbe cercare di dare l'esempio, per aumentare i meccanismi imitativi. I paesi più ricchi dovrebbero aiutare i più poveri, a diventare meno poveri, perché solo i paesi sufficientemente ricchi hanno la capacità di diventare virtuosi in termini di emissioni.

Cerchiamo inoltre di promuovere il libero dibattito delle idee e combattere ogni forma di censura, affinché la crisi climatica non si trasformi anche in una crisi democratica. Come produrre un cambiamento senza imporlo? Non è una domanda semplice, ma dobbiamo sempre averla presente. Perché il rischio è che per

risolvere un problema finiamo per crearne uno ancora più grande, quello di una società del controllo permanente.

Nota: Questo articolo è tratto da un video dell'autore pubblicato su *YouTube*: <https://youtu.be/DOjcOSdTPcE>. Si consiglia anche la visione del video (in francese) di *Cédric Ringenbach*: https://youtu.be/8KhME__n8mw, sull'equazione di Kaya modificata.