Complessità e ambiente. Perché non siamo all'altezza della sfida

Riccardo Leoncini - 31/05/2024 [papers]

Abstract

Viviamo in un mondo non lineare, ma pensiamo in modo lineare. L'esistenza di una retroazione negativa dovrebbe garantire che un sistema, di fronte a una perturbazione, si stabilizzi in maniera endogena grazie alle forze che innesca. In questo modo, comportamenti prevedibili sono il risultato "naturale" di ogni possibile perturbazione che colpisce il sistema. Tuttavia, l'esistenza di retroazioni positive, lungi dal costringere il sistema a gravitare intorno all'equilibrio, è più probabile che porti in disequilibrio il sistema e contribuisca a tenerlo lontano da esso.

Le seul véritable voyage […] ce ne serait pas d'aller vers de nouveaux paysages, mais d'avoir d'autres yeux, de voir l'univers avec les yeux d'un autre, de cent autres, de voir les cent univers que chacun d'eux voit, que chacun d'eux est
Marcel Proust, *La Prisonnière*

El hombre es disipación […] y el miedo a la disipación
Juan Carlos Onetti, *Juntacadaveres*

Introduzione

Viviamo in un mondo non lineare, ma pensiamo in modo lineare. Non riusciamo a capire che per percorrere 100 km, aumentare la velocità della nostra automobile da 60 a 80 km/h consentirà un risparmio di 25 minuti di tempo di viaggio, mentre aumentando di altri 20 km/h fino a 100 km/h non otterremo la stessa riduzione del tempo di viaggio, ma una riduzione minore.[1]

Viviamo in un mondo non lineare, ma pensiamo in modo lineare. Se oggi il bilancio della Covid-19 fosse di 1.000 persone infette, domani ci aspetteremmo poco più di 1.000 persone, perché non siamo in grado di pensare in termini esponenziali.[2]

Viviamo in un mondo non lineare, ma pensiamo in modo lineare. L'esistenza di una retroazione negativa dovrebbe garantire che un sistema, di fronte a una perturbazione, si stabilizzi in maniera endogena grazie alle forze che innesca. In questo modo, comportamenti prevedibili sono il risultato "naturale" di ogni possibile perturbazione che colpisce il sistema. Tuttavia, l'esistenza di retroazioni positive, lungi dal costringere il sistema a gravitare intorno all'equilibrio, è più probabile che porti in disequilibrio il sistema e contribuisca a tenerlo lontano da esso (Arthur 1990).[3]

Viviamo in un mondo non lineare. Ma nessuno sembra essere in grado di rappresentarlo sia all'interno che all'esterno del dominio scientifico. Siamo così inseriti nel pensiero lineare che nemmeno l'arte, che dovrebbe essere l'atto di pensiero più sensato per anticipare i cambiamenti nelle nostre percezioni, sente di avere qualcosa da dire al riguardo. Il non lineare è così complesso da comprendere che è quasi impossibile affrontarlo. Gli artisti sono stati costretti ad abbracciare strumenti diversi (lontani dai loro) e hanno prodotto saggi, documentari, ma sono pochissimi i tentativi di usare la loro arte come strumento principale (Ghosh 2016).[4] Forse l'arte non lineare per eccellenza (la poesia) potrebbe avere qualcosa da dire: la poesia potrebbe aiutare a costruire un nuovo modo di guardare le cose e darci la consapevolezza della posta in gioco. Potrebbe darci una visione completamente non lineare delle nostre percezioni prima che diventino pensieri coscienti, mostrandoci che c'è una contraddizione intrinseca che forse sfugge alla nostra logica positivista, e che forse potremmo/dovremmo cambiare

radicalmente il nostro approccio.[5]

Lineare e infinito

L'idea di progresso infinito trova le sue fondamenta nell'Illuminismo, che vede l'umanità puntare, nonostante alcune variazioni cicliche a breve termine, verso l'aumento incessante del benessere. Si basa quindi su una visione evolutiva che assicura che tutto funziona per il meglio, che tutto è in grado di incanalare il progresso nell'unica direzione consentita da tale processo storico: il miglioramento dell'umanità. Quindi, spinta dalla legge dell'evoluzione darwiniana (ma declinata in una sorta di teleologico Lamarckismo), e dalle incessanti scoperte fatte da Newton in poi, la scienza stava sconfiggendo le superstizioni e si stava affermando come il più potente motore del progresso. Pierre Simon Laplace scrisse quella che è probabilmente la dichiarazione più famosa e assertiva sul potere della scienza: "Un'intelligenza che conoscesse tutte le forze che agiscono in natura in un dato istante, così come le posizioni momentanee di tutte le cose nell'universo, sarebbe in grado di comprendere in una sola formula i moti dei corpi più grandi così come degli atomi più leggeri del mondo, a condizione che il suo intelletto fosse sufficientemente potente da sottoporre tutti i dati all'analisi; per essa nulla sarebbe incerto, il futuro così come il passato sarebbero presenti ai suoi occhi".

Prometeo si era liberato fornendoci la sua scintilla per dare all'umanità il più potente degli strumenti mai prodotti (Landes 1969).[6] Quindi, quando i rendimenti decrescenti cominciano a farsi sentire, il progresso tecnico viene in aiuto, entrando in scena con la sua "endless frontier": con il famoso Rapporto di Vannevar Bush il ruolo del modello lineare technology-push è stato popolarizzato al punto da diventare una sorta di religione laica delle relazioni scienza-tecnologia (Pielke 2010). Come si evince dalla dichiarazione di apertura del Rapporto: "Il progresso [...] dipende da un flusso di nuove conoscenze scientifiche. Nuovi prodotti, nuove industrie e più posti di lavoro richiedono un continuo ampliamento della conoscenza delle leggi della natura e l'applicazione di tale conoscenza a scopi pratici. [...] Queste nuove conoscenze essenziali possono essere ottenute solo attraverso la ricerca scientifica di base" (Bush 1945). Ciò porterebbe direttamente dalla Repubblica della Scienza al Regno della Tecnologia (Dasgupta e David 1994) permettendo all'umanità di beneficiare di un progresso infinito. Lo stadio finale dello sviluppo lineare è stato raggiunto dopo il crollo del Muro di Berlino, quando l'evoluzione è stata finalmente richiamata da Francis Fukuyama, per spiegare ai profani che la storia "come processo evolutivo [...] è giunta alla fine" (Fukuyama 1992, p. xii).

L'approccio lineare consente di costruire modelli semplici, staccando un pezzo dal sistema con la clausola *coeteris paribus*: è quindi possibile analizzare un singolo elemento, produrre il risultato necessario, e poi reinserirlo nel sistema. Esattamente come farebbe un orologiaio nella costruzione di un orologio. Complicato, ma non complesso. Un modello lineare è: additivo (cioè, il tutto è esattamente uguale alla somma delle sue parti separate), scomponibile (cioè, ogni sottoinsieme di un insieme può essere analizzato separatamente e ricollegato al resto), indipendente dal tempo (cioè è possibile navigare in entrambe le direzioni lungo un modello lineare), equiproporzionale (cioè la crescita degli elementi del modello procede nella stessa proporzione), decontestualizzato (cioè, una volta definite le variabili esogene, non è necessario analizzare ulteriormente il ruolo delle istituzioni). Seguendo queste linee di ragionamento siamo portati a pensare che ci sarà sempre "un elemento in più" che possiamo produrre per migliorare le cose. Il futuro è sempre radioso e promettente. Sicuramente scopriremo come produrre le cose in modo più efficiente, come utilizzare meno input per mantenere invariato il livello di output. Come pulire l'ambiente mantenendo invariato il tasso di crescita della produzione industriale.

Un corollario di questa visione è che il clima è importante di per sé e che l'idea di una sorta di clima naturale ha un valore. Attraverso una sorta di ragionamento dinamico lineare, torniamo indietro nel passato per evidenziare l'età dell'oro del clima, quando era puro e selvaggio. Si immagina quindi che questo clima precedente sia l'obiettivo fondamentale e che la sua stabilità diventi la missione di ogni essere umano attento e responsabile. Dobbiamo inventare un modo più efficiente e meno inquinante per costruire il nostro futuro: la natura ordinata si oppone alla natura contaminata dall'uomo (*non più naturale*). La stabilità si oppone al cambiamento, l'ordine al caos.

L'idea mainstream, lineare, sull'ambiente affronta la domanda e l'offerta: alcuni incentivi possono e devono essere determinati per indurre gli agenti a "correggere" il loro comportamento "sbagliato", risolvendo così i problemi di fallimento del mercato creati dall'inquinamento. Purtroppo, però il modello lineare non è in grado di gestire queste esternalità. In effetti, il problema della percezione del cambiamento climatico per un economista è abbastanza facile da (non) capire: essendo l'inquinamento un'esternalità, difficilmente viene visto, e quindi preso in considerazione, dai mercati. Quindi, l'idea di invertire la logica, utilizzando i mercati per prendere in considerazione l'inquinamento, è un'idea che non può logicamente funzionare.[7]

Si possono fare molti esempi per mostrare come un modello lineare sull'ambiente abbia il limite di cambiare l'intercetta o la pendenza di una relazione lineare tra una variabile che rappresenta l'inquinamento e una variabile che rappresenta l'ambiente. I condizionatori d'aria e i frigoriferi sono uno di questi. Originariamente utilizzavano clorofluorocarburi, uno dei principali elementi che causano una forte riduzione dell'ozono, e per questo motivo sono stati sostituiti da un'altra sostanza meno pericolosa per l'ozono. Così, poiché questa misura ha cambiato la pendenza del rapporto, l'aumento dell'uso degli apparecchi da parte dei Paesi in via di sviluppo molto popolati ha fatto sì che la quantità di questa nuova sostanza aumentasse, raggiungendo così lo stesso livello di prima.

Un altro esempio è legato ai materiali rari. Anche in questo caso, stiamo sostituendo il combustibile fossile con l'elettricità (per le automobili, ma anche per la pletora di dispositivi elettrici che usiamo quotidianamente), ma per essere più precisi, stiamo sostituendo il combustibile fossile con i materiali rari. Anche in questo caso, l'intercetta si sposta verso il basso. Tuttavia, da un lato, i materiali rari sono difficili da estrarre dalla terra (ad alta intensità energetica e inquinanti) e, dall'altro, spostandoci rapidamente lungo la funzione, ci avvicineremo presto allo stesso livello di inquinamento, solo in modo diverso (forse meno visibile).

Infine, c'è un esempio da fare per mostrare l'arroganza del genere umano, ed è legato ai recenti annunci sulla conquista di nuovi pianeti alla ricerca di nuove miniere di materie prime. A parte la frenesia della fantascienza che diventa realtà,[8] questo avrebbe ovvie implicazioni in termini di costi energetici e di opportunità, con il corollario di espandere ancora di più l'area di inquinamento generato dall'uomo.

Non lineare e finito

Le relazioni non lineari implicano alcune differenze rispetto al modello lineare. Ad esempio, le retroazioni positive implicano che qualsiasi variazione dall'equilibrio non si riconverte in un equilibrio stabile, ma si allontana ulteriormente da esso. Per questo motivo, piccole deviazioni assumono un'importanza cruciale, poiché possono alterare qualitativamente il comportamento del sistema. Il sistema è quindi un meccanismo delicato, che vive tra il caos e l'immobilità: il cosiddetto *edge of chaos*.[9]

I sistemi hanno quindi una natura olistica, le cui forze motrici sono principi evolutivi. Evoluzionismo, qui, significa soprattutto popolazionismo (in opposizione all'individualismo). Per questo motivo: "In primo luogo, il comportamento della popolazione è un costrutto statistico, da spiegare in termini di livelli e variazioni della media, della varianza e dei momenti superiori della distribuzione della popolazione. In secondo luogo, la performance di un qualsiasi membro della popolazione è significativa solo in termini di posizione nella distribuzione complessiva del comportamento. In terzo luogo, non è necessario che il

comportamento dell'aggregato della popolazione sia riducibile al comportamento dei membri corrispondenti della popolazione" (Gibbons e Metcalfe 1986, p. 11). Ed è proprio perché siamo figli dell'individualismo che non riusciamo a comprendere i principi della teoria dei sistemi. In questo senso, gli artisti hanno maggiori probabilità di comprendere il valore olistico della loro disciplina e, forse, del mondo.[10]

Se ci rifacciamo alla teoria dei sistemi (von Bertalanffy 1968; Lazlo 1972), sono rilevanti tre dimensioni di un sistema: (i) l'ambiente esterno; (ii) l'ambiente interno; (iii) una serie di collegamenti. Le caratteristiche del sistema dipendono quindi dalle interazioni tra queste dimensioni. Tre sono le questioni principali su cui concentrare l'attenzione: (i) la definizione delle caratteristiche rilevanti dell'ambiente locale; (ii) i cambiamenti nell'ambiente locale; e (iii) la velocità relativa con cui l'ambiente esterno e quello locale cambiano. In questo quadro è possibile prendere in prestito e adattare concetti della termodinamica come quello di entropia e quello relativo al grado di apertura di un sistema rispetto ai flussi di scambio con l'ambiente esterno. Di conseguenza, il cuore dell'attività di un sistema risiede nei tipi e nelle quantità di trasferimenti che avvengono all'interno e attraverso i confini del sistema. In altre parole, l'attenzione esplicita alle connessioni (ai legami) tra gli attori (che a sua volta implica la definizione dei confini del sistema) è ciò di cui si occupa principalmente la teoria dei sistemi.

I sistemi non lineari sono caratterizzati dall'irreversibilità, cioè dal tempo "storico" (irreversibile e non deterministico), mentre la nozione di tempo nella fisica classica è reversibile e deterministica (tempo logico). I cambiamenti qualitativi non lineari, quando hanno successo, tendono a perpetuarsi e, diventando dominanti, impedendo il ritorno al passato. Fanno fluttuare il sistema lontano dallo stato stazionario, interagendo con una determinata struttura storica e istituzionale. L'introduzione di una non-linearità in un sistema auto-organizzato composto da strutture funzionali e spazio-temporali può superare i limiti della visione newtoniana tipica dei modelli di equilibrio generale, il cui comportamento è implicito nelle condizioni iniziali e non può subire un'evoluzione qualitativa.

La natura di un particolare equilibrio varia a seconda del particolare stato e momento del tempo.[11] In particolare, il percorso di sviluppo è soggetto a biforcazioni improvvise: la dinamica del sistema è definita in modo univoco rispetto al tempo fino a quando non raggiunge uno di questi punti in cui sono disponibili due percorsi alternativi. Nelle vicinanze di ogni punto di biforcazione, l'alternativa effettivamente scelta può dipendere da piccoli eventi casuali. In questi casi diventa estremamente difficile definire le relazioni causali tra le variabili e fare qualsiasi tipo di previsione se non casuale. Pertanto, il comportamento del sistema sarà determinato da diversi insiemi di variabili a volte "rilevanti" e a volte "irrilevanti", a seconda della distanza dai punti di biforcazione. È quindi possibile spiegare perché un sistema mostri un comportamento stabile per periodi di tempo (abbastanza) lunghi lungo traiettorie lineari e ben definite, mentre nelle vicinanze di un punto di biforcazione, la direzione sarà scelta in modo apparentemente casuale e repentino, oltretutto a causa di scelte apparentemente irrilevanti. È quindi molto difficile prevedere la rilevanza di queste scelte nel momento in cui vengono fatte.

Ogni sistema ha una propria rete di collegamenti che è caratterizzata da: (i) l'esistenza o meno di una connessione e il fatto che una connessione colleghi la stessa coppia di agenti o istituzioni; (ii) la direzione delle loro connessioni; (iii) il fatto che in un sistema una connessione trasporti più flussi di un'altra, mentre il contrario vale per un altro sistema (cioè l'intensità dei collegamenti); (iv) il fatto che le connessioni e i flussi che le percorrono coincidano o meno; (v) il fatto che una connessione sia mediata o meno dall'interfaccia istituzionale. Tutti questi sono fattori cruciali che determinano la dinamica del sistema.

Infine, il comportamento di un sistema intrinsecamente non lineare è caratterizzato dall'incertezza, cioè si conosce tutto sulla struttura dei parametri, ma non le loro distribuzioni di probabilità.[12] Non essendo quantificabile, l'incertezza rende il comportamento del sistema altamente imprevedibile. Ciò significa che non possiamo fare previsioni "precise", ma solo previsioni "buone" e scenari di fondo,[13] e che non possiamo presumere comportamenti futuri sulla base di osservazioni passate. Di conseguenza, non possiamo sapere nulla sui futuri punti di svolta. Per essere più chiari, che il punto di svolta catastrofico dell'ambiente terrestre esista non è in dubbio, dato che i paleoclimatologi lo hanno osservato nel passato geologico, ma non siamo in grado di prevedere con precisione quando avverrà.

Alcune considerazioni non lineari

Sebbene la visione non lineare del cambiamento climatico non sia ancora entrata a pieno titolo nei nostri ragionamenti, è ormai riconosciuto che il nesso di causalità tra clima e umanità è cambiato. Per molto tempo, infatti, l'ambiente ha modellato il modo in cui gli organismi viventi (dalle piante, agli animali, agli esseri umani) hanno trovato il loro spazio sulla terra, per accertare persino il contributo primario del clima a molti collassi sociali (ad esempio, Weiss e Bradley 2001). Al punto da creare un determinismo ambientale (ad esempio, Peet 1985; Hulme 2011) secondo il quale persino le differenze tra gli esseri umani sono modellate dai cambiamenti climatici. Gli esseri umani sarebbero quindi in grado di sopravvivere modificando i microclimi per isolarsi all'interno di bolle di relativa stabilità di fronte ad avversità catastrofiche. Un piccolo cambiamento nella frequenza delle piogge o nella temperatura è stato responsabile di esodi di massa: un aumento di due o tre gradi della temperatura può essere compensato spostandosi in alto di qualche centinaio di metri. Tuttavia, se spostarsi più in alto è impossibile, l'alternativa di andare, per esempio, a Nord implica che, per ottenere la stessa temperatura, sono necessari più di trecento chilometri.

Ora abbiamo completamente invertito le relazioni e siamo entrati per la prima volta in un'era guidata dall'uomo, l'Antropocene (Steffen et al. 2011). È ormai chiaro che l'uomo ha superato la soglia delle micro-modifiche dell'ambiente, per entrare nell'era delle macro-modifiche: è l'uomo a determinare i cambiamenti meteorologici e non viceversa. Questo cambiamento di punto di vista deve essere prima compreso completamente e poi divulgato. Ciò implica che dobbiamo cambiare qualitativamente il nostro approccio al modo in cui percepiamo i problemi ambientali.

Tuttavia, sebbene sul cambiamento climatico vi sia un ampio consenso "scientifico", questo non si traduce in un consenso "pubblico" per almeno tre motivi.

Il primo motivo è che, trattando un sistema altamente non lineare, gli stessi scienziati non sono unanimi. L'uso di simulazioni al computer è l'unico modo per costruire modelli coerenti del cambiamento climatico, ma questi sono pieni di elementi esogeni sui quali non è facile trovare un accordo completo.[14] In genere offrono previsioni che possono differire in modo sostanziale a causa del livello di incertezza di cui sono impregnate. Di conseguenza, mentre gli scienziati in generale concordano sugli scenari del riscaldamento globale, non concordano sulle previsioni puntuali. E sebbene questo sia il modo "normale" con cui la scienza progredisce, i disaccordi possono essere interpretati dal grande pubblico in modo piuttosto scettico.[15]

Il secondo motivo è dovuto al pensiero lineare. Seguendo questa logica, il grande pubblico si aspetta di vedere un collegamento diretto tra causa ed effetto. Tuttavia, poiché ci troviamo di fronte a un sistema complesso non lineare, i cambiamenti climatici non si presentano né come eventi discreti che possono essere associati a un elemento (o a un insieme di elementi) precedentemente scatenante che ha causato in modo trasparente tali eventi, né esiste una stretta associazione tra la “dimensione” di una certa causa e l’effetto risultante. Nei sistemi non lineari accade spesso che la causa (supponendo che possa essere individuata con certezza al 100%) non sia “commisurata” all’effetto: come possiamo ragionevolmente credere che una singola, innocente, debole e colorata farfalla a Rio abbia il potere di generare una tempesta a New York? C’è una sproporzione così incredibilmente grande tra le due cose (sia in termini di forza, sia di tempi, sia di posizione geografica) che lo scetticismo della gente non sorprende.

Il terzo motivo è legato al vocabolario che gli scienziati usano per trattare i risultati. Poiché i risultati empirici sono normalmente probabilistici, espressioni come “probabile”, “improbabile” o “molto improbabile” sono frequenti. Mentre per uno scienziato significano che l’intervallo di significatività è maggiore o minore di una certa percentuale, il senso comune regolerà la percezione in modo piuttosto diverso: per alcune persone improbabile potrebbe significare quasi impossibile, mentre per altre sarebbe lontanamente possibile. Inoltre, probabile potrebbe significare probabile ma non molto, ecc.

L’interiorizzazione di questo cambiamento è quindi difficile, se non addirittura impossibile, da concettualizzare.[16] L’idea che piccoli microeventi singolari si sommino al punto da mettere l’uomo alla guida del riscaldamento globale è inconcepibile per molte ragioni. In primo luogo, è difficile immaginare e aggregare l’immenso numero di piccoli eventi inquinanti (su scala terrestre) che si verificano in ogni singolo momento (sia esso un secondo, un’ora, un giorno o un anno). In secondo luogo, in un’analisi costi-benefici gli esseri umani considerano che la bellezza di questo mondo meraviglioso, che abbiamo creato grazie a tecnologie molto sofisticate, non può non avere un prezzo da pagare (e meglio ancora se qualcun altro se ne fa carico). In terzo luogo, in un modello lineare, gli scarti del processo produttivo in eccesso rispetto ai “meravigliosi” beni e ai servizi prodotti possono essere ri-trattati chimicamente o fisicamente per diventare a loro volta nuovi beni e servizi. Poiché ciò può continuare all’infinito (e alcuni traggono enormi profitti da questi processi), la meraviglia di questo modello circolare (ma sempre lineare) diventa ancora più attraente. Infine, secondo una visione sistemica, il clima peggiorerà in modo non lineare e forse caotico. Vedremo crisi spuntare qua e là, senza legami apparenti tra loro (nessuna relazione lineare cristallina di causa-effetto). Il disordine sarà la parola chiave della crisi che si disperderà, con fenomeni in continuo aumento che colpiranno qua e là a un ritmo accelerato. Tuttavia, trattandosi di un insieme disordinato di crisi, avremo difficoltà a evidenziarne l’interrelazione e sarà sempre più difficile attribuire queste crisi sparse e diverse a un’unica causa: il riscaldamento globale indotto dall’inquinamento.

Per esempio, sappiamo che l'anidride carbonica è un gas serra (cioè la sua diffusione aumenta la temperatura del globo) e sappiamo anche con certezza che la sua concentrazione nell'atmosfera è aumentata dalla rivoluzione industriale (approssimativamente da poco meno di 300 parti per milione a poco meno di 400 parti per milione). Tuttavia, ciò che è difficile accertare con certezza è la relazione tra questo fenomeno e il riscaldamento globale. Per valutare questo aspetto, dovremmo trovare una relazione tra la temperatura media globale e l'anidride carbonica. In linea di principio, sarebbe sufficiente accoppiare le due serie storiche. Ma poiché la temperatura globale è influenzata, in modo fortemente non lineare, da un'enorme serie di altri elementi (come quelli biologici, idrologici, ecc.), è difficile individuare un preciso rapporto causa-effetto. Tanto per fare un esempio, il riscaldamento globale può essere aumentato (ad esempio, dal metano rilasciato dallo scioglimento del permafrost o, come già detto, dalla diminuzione dell'albedo) o ridotto (ad esempio, dal rafforzamento delle proprietà raffreddanti delle nuvole determinato dall'aumento delle temperature) o sia aumentato che ridotto dallo stesso fenomeno (ad esempio, l'aumento delle temperature aumenta l'evaporazione dell'acqua di mare che, da un lato, è un gas serra, aumentando così il riscaldamento, ma, dall'altro, il vapore si accumula per formare le nuvole, schermando così la Terra dalla radiazione solare (cioè, l'aumento delle temperature aumenta l'evaporazione dell'acqua di mare che, da un lato, è un gas serra, aumentando così il riscaldamento, ma, dall'altro, il vapore si accumula per formare le nuvole, schermando così la Terra dalla radiazione solare) (Idso 1998; Bradley 2011b).

Un altro esempio potrebbe venire dalle auto elettriche. Poiché le auto elettriche non emettono alcun tipo di inquinante, sembrano risolvere il problema del trasporto ecologico.[17] Tuttavia, il problema delle auto elettriche è che sono ancora prodotte secondo il modello lineare. Quindi, le auto sono le stesse vecchie auto con solo un motore diverso e un po' di spazio per le batterie. Niente di più. Questo significa che: 1) le auto continuano a inquinare in termini di energia necessaria per costruirle e smaltirle. Con in più, un set di batterie piuttosto ingombrante! 2) Il sistema di trasporto rimane però invariante, il che significa che il trasporto individuale è ancora l'idea. Ciò implica un numero crescente di automobili, poiché un maggior numero di persone (ad esempio dai Paesi in via di sviluppo, come Cina e India) aumenterà il proprio salario medio; 3) l'aumento della quantità di materiale raro implica (da un punto di vista concettuale) la sostituzione di un materiale fossile non rinnovabile (petrolio) con un materiale fossile non rinnovabile (terre rare).[18] L'idea di sostituire le auto con biciclette elettriche o motorini è (sempre da un punto di vista concettuale) ancora peggiore, perché si tratterebbe di dotare ogni essere umano di una batteria personale. È evidente che questo modo di affrontare i danni ambientali è frutto di una visione lineare, che non fa altro che rimandare la catastrofe finché si riesce a diminuire la pendenza o l'intercetta della relazione. Lo stesso vale per lo smaltimento dei rifiuti: piuttosto che diminuire la produzione di rifiuti, puntiamo ad aumentare l'efficienza della loro distruzione.

Una visione sistemica approfondita implica che si consideri l'ambiente da almeno due punti di vista. Uno è che una complessità crescente implica un aumento dei collegamenti e dei livelli di struttura organizzativa. Ciò significa che, mentre un modello lineare gestisce facilmente le interazioni gerarchiche, le interazioni non lineari sono piuttosto difficili (se non impossibili) da gestire dall'alto. Per due motivi: il sovraccarico di informazioni e le retroazioni non lineari tra i diversi livelli. Di conseguenza, i problemi si accumulano. Le retroazioni positive aumentano l'instabilità del sottosistema fino a raggiungere il livello di soglia. A quel punto inizierà una transizione strutturale che, a seconda del livello e della dimensione, potrebbe forzare la stabilità dell'intero sistema.

La crescente struttura organizzativa implica un altro elemento molto rilevante per l'analisi del riscaldamento globale. Le relazioni all'interno di un sistema non lineare sono spesso locali e interagiscono tra loro per mezzo di feedback. Un buon esempio è dato dalle temperature registrate nell'inverno 2009-2010. Mentre la temperatura globale è stata piuttosto calda (la temperatura media di quell'inverno è stata in effetti la seconda più alta registrata negli ultimi 150 anni), l'Europa e parte degli Stati Uniti hanno registrato un inverno particolarmente freddo e nevoso (Bradley 2011b, 46). Di conseguenza, è difficile credere che un certo fenomeno globale (cioè il riscaldamento globale) stia influenzando le nostre vite, soprattutto quando stiamo sperimentando esattamente il suo opposto (cioè il congelamento locale).

La localizzazione ha anche un'implicazione diversa, ma leggermente più sottile. Infatti, se il sistema si basa su questo principio,

non possiamo essere sicuri che agendo su una certa scala locale si produca un miglioramento globale dell'ambiente. Per esempio, il taglio di alberi in Amazzonia non può essere sostituito dalla piantumazione dello stesso numero di piante in un altro luogo. Il risultato aggregato non è zero, ma si creano due fenomeni locali, ciascuno con relazioni e impatti locali. E le eventuali conseguenze globali sono nascoste dietro una cortina di feedback positivi non lineari, difficili (se non impossibili) da valutare empiricamente in modo corretto.

Se una visione di sistema implica che non possiamo prevedere il punto di svolta nel nostro clima per la semplice ragione che non possiamo usare l'aumento della temperatura come variabile indipendente di una funzione lineare, ma piuttosto alcune forti retroazioni non lineari rendono questa relazione imprevedibile, non possiamo nemmeno applicare il principio di precauzione di "ridurre" le emissioni di una certa percentuale. Dobbiamo semplicemente fermarle.

Questo porterà a una sorta di paradosso. La via di mezzo, cioè ridurre l'inquinamento fino a un certo punto per migliorare l'ambiente, è un modo di pensare che dovrebbe costringerci a preoccuparci dell'ambiente. Tuttavia, se è incline alla visione lineare, sarà perfettamente inutile. Quindi, dovremmo smettere di pensare all'ambiente: potremmo decidere di continuare a lavorare come al solito e distruggere le nostre possibilità, oppure potremmo smettere di inquinare. In entrambi i casi non dovremmo preoccuparci!

Riferimenti bibliografici

Arthur, W Brian. 1990. "Positive Feedbacks in the Economy." *Scientific American* 262 (2): 92–99.

Bertalanffy, L. von. 1968. *General System Theory*. Allen Lane, London.

Bobin, Christian. 2018. *Le Plâtrier Siffleur*. Editions Poesis.

Boulding, Kenneth E. 1981. *Evolutionary Economics*. London, Sage.

Bradbury, Ray. 2012. *The Martian Chronicles*. Simon; Schuster.

Bradley, Raymond S. 2011a. *Global Warming and Political Intimidation: How Politicians Cracked down on Scientists as the Earth Heated up*. University of Massachusetts Press.

———. 2011b. "Where Do We Stand on Global Warming?" *Contributions to Science*, 45–49.

Bush, Vannevar. 1945. "Science. The Endless Frontier." National Science Foundation – EUA, Washington.

Coase, R. H. 1960. "The Problem of Social Cost." *The Journal of Law & Economics* 3: 1–44.

Dasgupta, Partha, and Paul A David. 1994. "Toward a New Economics of Science." *Research Policy* 23 (5): 487–521.

Fukuyama, Francis. 1992. *The End of History and the Last Man*. Simon; Schuster.

Ghosh, Amitav. 2016. *The Great Derangement: Climate Change and the Unthinkable*. University of Chicago Press, Chicago.

Gibbons, M., and S. Metcalfe. 1986. "Technological Varietyand the Process of Competition." Discussion Papers in Economics, n. 53, University of Manchester.

Hansen, James, Makiko Sato, Paul Hearty, Reto Ruedy, Maxwell Kelley, Valerie Masson-Delmotte, Gary Russell, et al. 2016. "Ice Melt, Sea Level Rise and Superstorms: Evidence from Paleoclimate Data, Climate Modeling, and Modern Observations That 2C Global Warming Could Be Dangerous." *Atmospheric Chemistry and Physics* 16 (6): 3761–3812.

Hofbauer, J., and K. Sigmund. 1988. *The Theory of Evolution and Dynamical Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.

Hulme, Mike. 2011. “Reducing the Future to Climate: A Story of Climate Determinism and Reductionism.” *Osiris* 26 (1): 245–66.

Idso, Sherwood B. 1998. “CO2-Induced Global Warming: A Skeptic’s View of Potential Climate Change.” *Climate Research* 10 (1): 69–82.

Kauffman, Stuart A. 1993. *The Origins of Order*. Oxford: Oxford University Press.

Knight, Frank Hyneman. 1921. *Risk, Uncertainty and Profit*. Vol. 31. Houghton Mifflin.

Landes, David S. 1969. *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge University Press.

Lazlo, E. 1972. *Introduction to Systems Philosophy.toward a New Paradigm of Contemporary Thought*. Gordon; Breach, New York.

Magritte, René. 2017. *Le Mots Et Les Images*. Esapace Nord, Communauté française de Belgique.

McCloskey, Deirdre. 1998. “The so-Called Coase Theorem.” *Eastern Economic Journal* 24 (3): 367–71.

Mokyr, Joel. 1992. *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press.

Peet, Richard. 1985. “The Social Origins of Environmental Determinism.” *Annals of the Association of American Geographers* 75 (3): 309–33.

Pielke, Roger. 2010. “In Retrospect: Science–the Endless Frontier.” *Nature* 466 (7309): 922–23.

Pistone, Kristina, Ian Eisenman, and Veerabhadran Ramanathan. 2019. “Radiative Heating of an Ice-Free Arctic Ocean.” *Geophysical Research Letters* 46 (13): 7474–80.

---

[1] Se non siete arrivati da soli, la risposta è 15 minuti.

[2] Non voglio semplificare troppo, ma se le persone (e forse anche i politici) avessero conosciuto il modello dinamico non lineare preda-predatore di Lotka-Volterra, forse avrebbero potuto avere una sorta di intuizione di ciò che stava accadendo (Hofbauer e Sigmund 1988).

[3] Ad esempio, la velocità di scioglimento dei ghiacciai aumenta man mano che questi si sciolgono. In effetti, i ghiacciai riflettono il 90% della luce solare, mentre la Terra ne riflette solo un terzo (a titolo di riferimento, l’acqua degli oceani riflette quasi zero la luce solare). Pertanto, quando i ghiacciai si sciolgono, la loro capacità di riflettere la luce solare (chiamata *albedo*) diminuisce, aumentando così il calore che viene assorbito dal ghiacciaio. Questo, a sua volta, aumenta la velocità di scioglimento. Ciò significa che esiste una retroazione positiva tra lo scioglimento dei ghiacci e l’albedo: più il ghiaccio si scioglie, più velocemente si scioglie. Quindi, questa retroazione positiva, aumentando la velocità di fusione, diminuirà il tempo a nostra disposizione per affrontarla (Pistone, Eisenman e Ramanathan 2019).

[4] “[Si potrebbe anche dire che la narrativa che tratta del cambiamento climatico non è quasi per definizione del tipo che viene preso sul serio dalle riviste letterarie serie: la semplice menzione dell’argomento è spesso sufficiente a relegare un romanzo o un racconto nel genere della fantascienza. È come se nell’immaginario letterario il cambiamento climatico fosse in qualche modo affine agli extraterrestri o ai viaggi interplanetari.” (Ghosh 2016, p. 5).

[5] “C’è qualcosa della tirannia melliflua della tecnica che comincia a essere sconfitta da un istante di pura contemplazione che non richiede nulla, non cerca nulla, nemmeno una pagina scritta [...] La contemplazione è ciò che più di tutto minaccia, e in modo molto strano, il superpotere della tecnica. E per una ragione molto semplice: la tecnica apparentemente ci rende la vita facile. [...] Chi ha detto che la vita deve essere facile e pratica? Amare è comodo? Soffrire è comodo? È sperare?” (Bobin 2018, p. 30).

[6] “Il progresso tecnologico è stato una delle forze più potenti della storia, in quanto ha fornito alla società quello che gli economisti chiamano un “pranzo gratis”, cioè un aumento della produzione non commisurato all’aumento degli sforzi e dei costi necessari per ottenerlo”. (Mokyr 1992, p. 3).

[7] Basta leggere attentamente l’articolo di Ronald Coase (1960), come ad esempio in McCloskey (1998). Inoltre, ci sono anche ragioni psicologiche che impediscono all’agente medio di rendersi conto dei danni che il suo comportamento sta causando all’ambiente (Whitmarsh 2009). O, per dirla più schiettamente, Zadie Smith nel suo *Elegy for a country’s seasons* dice molto chiaramente come stanno realmente le cose: “Sebbene si dicano molte parole dure sulla risposta infantile del pubblico all’emergenza in arrivo, la risposta non mi sembra nemmeno molto sorprendente. È difficile tenere costantemente a mente l’apocalisse, soprattutto se si vuole alzarsi dal letto al mattino”. (Smith 2018). Anche in questo caso, niente di meglio di un artista per rappresentare efficacemente una situazione del genere: “E non mancava mai che durante gli anni secchi la gente si dimenticasse degli anni ricchi, e durante gli anni umidi perdesse ogni memoria degli anni secchi. Era sempre così”. (Steinbeck 2002).

[8] È triste, ma non sorprendente, che qualcuno abbia già visto questo film: “Non sarebbe giusto, la prima notte su Marte, fare un rumore forte, introdurre una strana, sciocca cosa luminosa come una stufa. Sarebbe una sorta di blasfemia importata. Ci sarebbe stato tempo per questo più tardi; tempo per gettare lattine di latte condensato negli orgogliosi canali marziani; tempo per le copie del New York Times che soffiavano e si agitavano e frusciavano sui solitari e grigi fondali marziani; tempo per le bucce di banana e le carte da picnic nelle scanalate e delicate rovine delle vecchie città delle valli marziane”. (Bradbury 2012)

[9] Con una dose di semplicità, un sistema è: “tutto ciò che non è nel caos” (Boulding 1981). O, per dirla in modo più elegante, un sistema aperto lontano dall’equilibrio è associato a un principio ordinatore che Prigogine (1976) definisce “ordine attraverso le fluttuazioni”.

[10] Per esempio, Magritte è molto chiaro quando scrive: “Il termine “composizione” presuppone qualcosa che sia in grado di essere scomposto. Tuttavia, dubito che si possano “scomporre” i miei quadri, ai fini di un’analisi che sarebbe auspicabile...” (Magritte 2017).

[11] Solo per fare un esempio, il modello *NK* sviluppato da Kauffman (1993) è un framework di modellazione molto diffuso per analizzare le caratteristiche dell’evoluzione non lineare di entità complesse all’interno di un paesaggio di interdipendenze: più forti sono le interdipendenze, più complesso (accidentato) è il paesaggio (cioè, più frequenti saranno gli optima locali, rendendo così sempre più difficile trovare l’optimum globale della funzione).

[12] A differenza del rischio, che è governato dalla probabilità, l’incertezza non lo è (Knight 1921).

[13] Per essere chiari, continueremo ad avere oscillazioni meteorologiche a breve termine, anche di grandi dimensioni che si verificheranno lungo la tendenza a lungo termine di un riscaldamento sempre maggiore, ma che non avranno alcun

significativo impatto sulla tendenza di lungo termine del riscaldamento globale stesso. Come già detto, questa dinamica si colloca comodamente all'interno del modello non lineare, prima che venga raggiunto il punto di biforcazione.

[14] Per le dichiarazioni controverse sulle conseguenze del riscaldamento globale sullo scioglimento dei ghiacci e, di conseguenza, sul loro impatto sul livello del mare, si veda Hansen et al. (2016). La loro simulazione "postula l'esistenza di feedback che possono accelerare rapidamente la fusione dei ghiacci, impone questa iniezione di acqua dolce in rapida crescita a un modello climatico e cerca una risposta climatica che supporti tale accelerazione. Lo scioglimento dei ghiacci imposto cresce in modo non lineare nel tempo, in particolare esponenziale, quindi, il tasso è caratterizzato da un tempo di raddoppio" (Hansen et al. 2016, 3787). Essi mostrano "l'evidenza di cambiamenti che iniziano a verificarsi nel sistema climatico [...] associati [...] a processi di feedback amplificati. [In un sistema che non è in equilibrio, un sistema in cui l'equilibrio è difficile da ripristinare rapidamente, un sistema in cui componenti importanti come l'oceano e le calotte glaciali hanno una grande inerzia ma stanno iniziando a cambiare, l'esistenza di tali feedback di amplificazione rappresenta una situazione di grande preoccupazione" (Hansen et al. 2016, 3801). Di conseguenza, l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale a 2°C potrebbe rivelarsi disastroso, generando innalzamenti del livello del mare di diversi metri che faranno semplicemente scomparire diverse città costiere.

[15] Non prendo in considerazione gli sforzi consapevoli e intenzionali compiuti da coloro che detengono in qualche modo diversi gradi di conflitto di interesse, come i politici o le aziende inquinanti. Anche se per alcuni è l'elemento principale che determina la disinformazione, non è compito di questo lavoro approfondire questo punto. Si veda, ad esempio, Bradley (2011a).

[16] Per tornare al nostro poeta: "È possibile che una catastrofe economica sia una grazia, una possibilità. Questo ci solleverà, ci farà uscire dall'ebbrezza, dall'irrealtà, dall'ingordigia, dal consumo." (Bobin 2018, 44-46).

[17] Almeno da un punto di vista teorico. Ci possono essere alcuni problemi nella transizione, ma la logica è indiscutibile.

[18] A dire il vero, la parola "non rinnovabile" è da considerarsi errata perché dipende dalla scala temporale che consideriamo. Per esempio, il petrolio potrebbe ragionevolmente essere considerato una risorsa totalmente rinnovabile se lo si considerasse solo a partire da 100.000 anni da oggi, un arco di tempo che ovviamente definiremmo non umano e quindi perfettamente inutile.