

un metodo stocastico che permette di valutare la *probabilità* di avere effettivamente calcolato il punto di minimo globale.

Sia per il minimo locale sia per il minimo globale il risultato è per un verso controintuitivo: errori imputabili a procedimenti di approssimazione di gradi sempre più elevati oppure la rinuncia a priori a ottenere risultati certi possono migliorare, anziché peggiorare, l'efficienza degli algoritmi.

Un'ultima questione sembra ineludibile: quali strutture, nel continuo, corrispondono alla grande varietà di strutture che si trovano nel calcolo matriciale? Il calcolo sul discreto, in confronto al continuo, sembra offrire, nel complesso, una maggiore ricchezza di informazione, tanto da sollevare la questione se è il continuo a essere un'approssimazione del discreto e non il discreto un'approssimazione del continuo.

BIBLIOGRAFIA: É. BOREL, *Le «paradoxes» de la théorie des ensembles*, «Annales scientifiques de l'École normale supérieure», 1908, 3^a serie, 25, pp. 443-48; J. VON NEUMANN, *Collected works*, 5^o vol., Oxford 1963, pp. 1-32; G.E. FORSYTHE, *Today's computational methods of linear algebra*, «SIAM review», 1967, 9, pp. 489-515; J.C. WEBB, *Mechanism, mentalism, and metamathematics. An essay on finitism*, Dordrecht 1980; W.W. TAIT, *Finitism*, «The journal of philosophy», 1981, 78, pp. 524-46; S. SMALE, *Some remarks on the foundations of numerical analysis*, «SIAM Rreview», 1990, 32, pp. 211-20; G. STRANG, *Wavelets*, «American scientist», 1994, 82, pp. 250-55; E.D. DOLAN, J.J. MORÉ, *Benchmarking optimization software with performance profiles*, «Mathematical programming», 2002, serie A, 91, pp. 201-13; C. DI FIORE, S. FANELLI, F. LEPORE, P. ZELLINI, *Matrix algebras in quasi-Newton methods for unconstrained minimization*, «Numerische Mathematik», 2003, 94, pp. 479-500; A.N. LANGVILLE, C.D. MEYER, *A survey of eigenvector methods for web Information retrieval*, «SIAM review», 2005, 47, pp. 135-61; JAN A. SNYMAN, *Practical mathematical optimization*, New York 2005; D. BERTACCINI, C. DI FIORE, P. ZELLINI, *Complessità e iterazione. Percorsi, matrici e algoritmi veloci nel calcolo numerico*, Torino 2013.

Paolo Zellini

CAMBIAMENTI CLIMATICI. – RISCALDAMENTI E RAFFREDDAMENTI NEL PASSATO REMOTO. IL PASSATO PROSSIMO E IL RISCALDAMENTO GLOBALE RECENTE. IL SISTEMA CLIMA, I MODELLI E LE CAUSE DEL RISCALDAMENTO GLOBALE RECENTE. IL FUTURO CLIMATICO. GLI IMPATTI. LE STRATEGIE DI AZIONE. IL NEGOZIATO INTERNAZIONALE. I MOVIMENTI DAL BASSO. Bibliografia

Il concetto di cambiamento nei fenomeni naturali fa parte dell'esperienza quotidiana di tutti noi. In generale, infatti, la natura non è statica, ma mostra chiaramente una dinamica e una sua propria variabilità. Siamo abituati, per es., a osservare cambiamenti nel tempo meteorologico da un giorno all'altro nella zona in cui viviamo.

Ma in realtà ogni area della Terra è caratterizzata da quanto certe specifiche condizioni meteorologiche (per es., in termini di temperature e precipitazioni) siano predominanti rispetto ad altre. È in effetti proprio il

tempo meteorologico medio, insieme alla sua variabilità, su un lungo periodo temporale (almeno trent'anni, come prescritto dall'Organizzazione meteorologica mondiale) determina il clima di quella zona.

I cambiamenti climatici, dunque, si riferiscono a cambiamenti che possono essere identificati (per es., usando test statistici) in variazioni significative nella media e/o nella variabilità delle grandezze che caratterizzano il clima e che persistono per un periodo piuttosto esteso, tipicamente per decenni o più. Le grandezze che si considerano più spesso in queste analisi sono la temperatura e la precipitazione, insieme agli eventi a esse associati (ondate di calore, estremi di precipitazione ecc.), di cui si valutano le variazioni in termini sia di frequenza sia di intensità.

RISCALDAMENTI E RAFFREDDAMENTI NEL PASSATO REMOTO. – La temperatura è la grandezza di interesse climatico più facile da stimare, sia perché le sue variazioni sono più graduali rispetto a quelle che caratterizzano altre grandezze come la precipitazione, che mostra grande variabilità spaziale e temporale, sia perché abbiamo metodi indiretti per ottenere indicazioni sui suoi valori medi anche in un passato in cui non c'erano ancora a disposizione strumenti meteorologici per la sua misura diretta.

La disciplina che si occupa di queste stime è la paleoclimatologia. I metodi utilizzati per le indagini paleoclimatiche sono vari: dall'analisi del ghiaccio contenuto nelle 'carote' estratte perforando gli spessi strati ghiacciati di Antartide e Groenlandia o quelli più sottili dei ghiacciai montani, all'analisi di sedimenti lacustri o marini, fino alle analisi paleobotaniche dei fossili, a quelle palinologiche dei pollini e a quelle dendrologiche degli anelli degli alberi.

I dati, detti *proxy*, che si ottengono da queste analisi (in particolare quelli delle carote antartiche) permettono di ricostruire la temperatura degli ultimi 800.000 anni, ma già ci sono progetti per estendere la nostra conoscenza all'ultimo milione e mezzo di anni, andando a estrarre ghiaccio ancora più profondo, e dunque più vecchio (Brook, Buizert 2018; Schiermeier 2019). In questi studi si effettuano analisi isotopiche degli atomi di idrogeno e ossigeno che formano le molecole di ghiaccio: il rapporto tra isotopi leggeri e pesanti dei singoli elementi nei vari strati di ghiaccio dipende dalla temperatura del periodo, sicché la sua misura fornisce una stima indiretta della temperatura stessa al passare del tempo.

La fig. 1 mostra chiaramente come il clima della Terra sia sempre cambiato, alternando ere glaciali (fredde) a periodi interglaciali (caldi). Questi cambiamenti periodici, soprattutto i lenti passaggi dai periodi caldi a quelli freddi, vengono usualmente attribuiti alla combinazione dei cosiddetti cicli di Milanković (cambiamenti nell'ellitticità dell'orbita, precessione dell'asse terrestre, variazioni nella sua inclinazione), che conducono a diverse quantità e distribuzioni di



ALBERI DI MANGROVIA SOMMERSI DAL MARE A CAUSA DI TEMPESTE ATLANTICHE E DI ACQUE SURRISCALDATE CHE CAUSANO INONDAZIONI PERSISTENTI A KEY LARGO, Florida, Stati Uniti, 22 ottobre 2019 (fot. Joe Raedle/Getty Images)

radiazione solare incidente sul pianeta. Congiungendo le conseguenze di tali cicli alle emissioni di gas serra dai ghiacci in fusione alla fine delle ere glaciali, si possono spiegare anche i passaggi più rapidi dai periodi freddi a quelli caldi.

IL PASSATO PROSSIMO E IL RISCALDAMENTO GLOBALE RECENTE. – I cicli di Milanković sono sicuramente troppo lenti per aver influito sulla storia climatica degli ultimi duemila anni. Nonostante ciò, anche questo periodo di tempo è stato caratterizzato da mutamenti climatici: si sono avuti, per es., il periodo caldo dell'impero romano dei primi secoli dopo Cristo, il periodo caldo medioevale (tra l'800 e il 1200) e la cosiddetta piccola era glaciale (dal 1300 al 1850). A questi va aggiunto ovviamente il riscaldamento recente, almeno quello molto rapido dell'ultimo secolo, in cui la temperatura media globale alla superficie è aumentata di circa 1 °C.

Molti di questi periodi passati sono stati identificati tramite testimonianze storiche (o anche dipinti) relativi soprattutto all'Europa. Ma come si inseriscono tali episodi in un quadro globale? Oggi abbiamo la possibilità di saperlo grazie a dati *proxy* che giungono da tutto il mondo. In particolare, la banca dati del progetto PAGES 2k (*Past Global Changes*) è stata recentemente analizzata a questo scopo (Neukom, Steiger, Gómez-Navarro et al. 2019). I risultati mostrano come, mentre il riscaldamento globale recente influenza il 98% della superficie terrestre, gli altri periodi di riscaldamento o raffreddamento abbiano interessato zone più limitate e non siano avvenuti contemporaneamente

su tutto il pianeta. Inoltre, questi cambiamenti più antichi sono compatibili con una variabilità naturale del clima, mentre il riscaldamento recente non lo è: esso risulta essere un cambiamento ubiquitario e sincrono che non ha precedenti negli ultimi duemila anni.

In generale, le analisi delle misure dirette e indirette di temperatura rivelano che il riscaldamento globale recente, per pervasività e rapidità, fuoriesce in maniera statisticamente significativa dalla variabilità climatica osservata precedentemente. Abbiamo dunque rivelato (*detection*) che qualcosa sta cambiando. Ma perché? Per capire a cosa attribuire questo cambiamento (*attribution*), cioè comprenderne le cause, questi dati vanno letti all'interno di uno schema teorico che permetta di studiare i rapporti causa-effetto tra le varie grandezze che caratterizzano il sistema.

IL SISTEMA CLIMA, I MODELLI E LE CAUSE DEL RISCALDAMENTO GLOBALE RECENTE. – In linea di principio, la temperatura media alla superficie del pianeta è una temperatura di equilibrio energetico tra energia entrante (riscaldante) e uscente (raffreddante). Il Sole irradia la Terra con un flusso di energia (soprattutto nella banda del visibile) e la Terra risponde, da un lato, riflettendo all'indietro una percentuale di questa energia da parte delle superfici chiare (soprattutto ghiacci, ma anche nubi alte), dall'altro lato, emettendo a sua volta energia nell'infrarosso, come ogni corpo dotato di una certa temperatura. La quantità di radiazione che proviene dal Sole è dunque un fattore fondamentale che può far aumentare o diminuire questa temperatura di equilibrio; ma c'è un altro fattore importante che influisce invece sulla quantità di energia

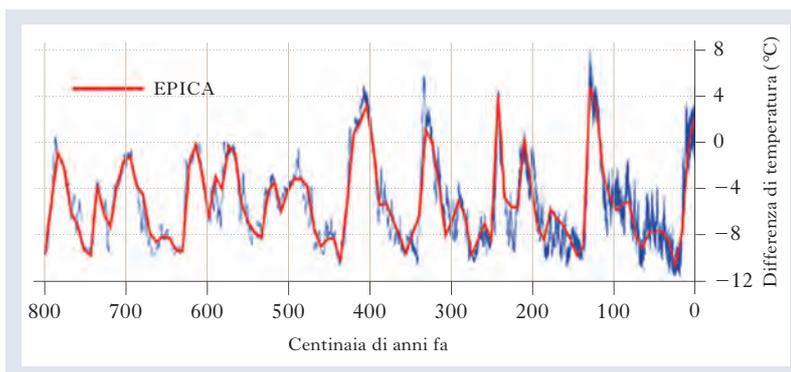


Fig. 1 – STIMA DELLE TEMPERATURE OTTENUTA DAL PROGETTO EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*). Fonte: Wikimedia commons - dati dall'archivio NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)

infrarossa che esce dalla Terra e la raffredda: si tratta di alcuni gas come il biossido di carbonio (CO₂), il metano (CH₄) e il vapore acqueo, detti *gas serra*, che hanno la capacità di intrappolare nei bassi strati dell'atmosfera una parte della radiazione infrarossa uscente dal pianeta verso lo spazio esterno. Se la loro concentrazione aumenta, questi strati si riscaldano per l'aumentato *effetto serra*.

Le misure di radiazione solare degli ultimi decenni mostrano che, proprio nel momento in cui si assiste a un aumento rapido di temperatura, l'energia entrante nel pianeta è in leggera diminuzione, tanto che analisi causa-effetto hanno mostrato un vero e proprio disaccoppiamento causale tra Sole e temperature a partire dagli anni Sessanta del Novecento (Pasini, Triacca, Attanasio 2012). Allo stesso tempo la concentrazione di CO₂ sta aumentando rapidamente oltre le 300 parti per milione (ppm), che rappresentano il massimo delle stime per la sua concentrazione degli ultimi 800.000 anni, ottenute dalle analisi delle bolle d'aria intrappolate nel ghiaccio delle carote antartiche (Brook, Buizert 2018): oggi siamo a oltre 410 ppm. Infine, l'analisi isotopica degli atomi di carbonio presenti nel CO₂ in atmosfera (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/mixing.html>) mostra come questo aumento recente sia dovuto essenzialmente alle emissioni di questi gas da parte di attività umane, come le combustioni di carbone, petrolio, gas naturale.

Ma in realtà il sistema è complesso e questi flussi di energia vengono perturbati da diversi fattori. Per es., le polveri immesse in atmosfera da parte delle eruzioni vulcaniche più violente e durature formano uno schermo che impedisce a una certa percentuale di radiazione solare di raggiungere la superficie del pianeta e conducono dunque a un temporaneo raffreddamento. In questo senso, anche emissioni di polveri (aerosol) da attività antropiche, in particolare quelle ricche di solfati, possono indurre un raffreddamento. Vi sono poi gli effetti della deforestazione, con cui eliminiamo dal pianeta assorbitori di biossido di carbonio – gli alberi – contribuendo così all'aumento della sua concentrazione in atmosfera. Più in generale, anche il cattivo uso del suolo e le attività agricole possono produrre emissioni di gas serra.

Infine, ci sono fenomeni di retroazione (feedback), che possono portare ad amplificare (feedback positivo) o a smorzare (feedback negativo) un cambiamento, per es. l'aumento di temperatura. Il fatto che con l'aumento recente di temperatura la superficie dei ghiacci stia diminuendo e l'evaporazione degli oceani si stia incrementando conduce a un ulteriore aumento di temperatura, mentre lo sviluppo di una maggiore quantità di nubi (dovuto alla maggiore quantità di vapore acqueo presente) porta a un feedback che generalmente si considera negativo.

Per dipanare tutta questa complessità e ottenere informazioni dettagliate sul peso causale dei vari fattori nel produrre gli effetti climatici considerati non

basta osservare ciò che ci presenta la natura e cercare regolarità nel suo comportamento. Occorre adottare un approccio sperimentale. Purtroppo non è possibile circoscrivere la complessità del clima in un laboratorio reale. È indispensabile, allora, considerare tutte le interrelazioni che esistono tra i vari elementi nel sistema clima in un modello matematico al calcolatore. Da qualche decennio si sono sviluppati modelli climatici globali (GCMs, *Global Climate Models*). Qui, utilizzando le equazioni fondamentali che descrivono il comportamento dei sottosistemi atmosfera, oceano ecc. e le rappresentazioni dei singoli fenomeni e processi, possiamo ricostruire il clima passato sotto l'influsso delle forzanti esterne, sia naturali sia antropiche. Inoltre, essendo il modello un vero e proprio laboratorio virtuale dove si ha il controllo di tutti gli elementi, si possono effettuare 'esperimenti' non realizzabili nella realtà, per es. capire le cause fondamentali del riscaldamento globale recente (attività di *attribution*).

I GCMs cui si forniscano tutti i dati reali delle forzanti esterne sono in grado di ricostruire egregiamente la temperatura media globale degli ultimi centocinquanta anni. Modelli in cui invece le forzanti antropiche siano tenute fittiziamente fisse ai valori preindustriali mostrano come il forte incremento di temperatura riscontrato a partire dagli anni Sessanta del secolo scorso in questo caso non sarebbe avvenuto (fig. 2). Ciò è un chiaro indizio che il riscaldamento globale recente va attribuito soprattutto alle cause umane.

L'accuratezza e l'affidabilità dei GCMs sono molto aumentate negli ultimi anni, ma ovviamente la nostra conoscenza teorica del sistema, inserita in questi modelli, è ancora necessariamente affetta da incertezze. In questo quadro, però, il risultato di *attribution* ottenuto dai GCMs per la temperatura media globale appare comunque molto robusto, in quanto ottenuto anche da modelli completamente indipendenti e che non fanno uso della nostra conoscenza pregressa. Si tratta di modelli guidati puramente dai dati (*data-driven*), come modelli di Intelligenza artificiale e modelli di Granger causality (Pasini, Racca, Amendola et al. 2017; Mazzocchi, Pasini 2017).

Se gli influssi umani (e soprattutto le emissioni di gas serra) appaiono dunque come la causa principale del riscaldamento globale recente, analisi di *attribution* relative ad altre variabili climatiche mostrano che tali influssi risultano concause importanti anche per i cambiamenti osservati nel ciclo dell'acqua, per la fusione dei ghiacci, l'intensificazione delle precipitazioni forti e le alterazioni nella circolazione atmosferica (IPCC 2013).

IL FUTURO CLIMATICO. – Guardando al futuro, i GCMs ci danno la possibilità di esplorare vari scenari possibili. La previsione climatica differisce dalla previsione meteorologica, in quanto quest'ultima dipende criticamente dalle condizioni iniziali dell'atmosfera

(previsione di prima specie), mentre la prima è influenzata soprattutto dalle condizioni al contorno date dall'andamento nel tempo delle forzanti esterne (previsione di seconda specie). Partendo da diversi scenari per le emissioni future di gas serra e aerosol, nonché per deforestazione e uso del suolo – dallo scenario *business as usual*, in cui non si prendono misure per la riduzione delle emissioni, ad altri scenari in cui le emissioni vengono contenute o abbassate più o meno drasticamente –, i modelli ci forniscono diverse proiezioni per il clima futuro. In termini di temperatura media globale, il *business as usual* ci porterebbe a un aumento di circa 5 °C rispetto all'epoca preindustriale, mentre altri scenari conducono ad aumenti minori.

Tali aumenti sarebbero differenziati sul globo, con incrementi di rilievo sulle terre emerse rispetto agli oceani (a causa della maggiore capacità termica di questi ultimi) e con un aumento molto più marcato alle alte latitudini, soprattutto nei pressi del Polo Nord, dove già oggi si sta assistendo a un innalzamento della temperatura, fenomeno noto come amplificazione artica. L'Italia, che già ha subito nell'ultimo secolo un aumento di temperatura di circa 2 °C, superiore a quello della media globale, dovrebbe anche in futuro rimanere sopra l'aumento medio globale, sicuramente in quanto terra emersa, ma anche per il fatto che il Mediterraneo risente sempre più di una circolazione che si espande dall'Africa verso Nord per l'amplificazione della cella equatoriale di Hadley della circolazione generale dell'atmosfera (Hu, Fu 2007).

Anche per le precipitazioni i GCMs ci danno informazioni su variazioni differenziate nelle varie regioni del globo, più o meno ampie a seconda dello scenario considerato. In generale, le precipitazioni aumenteranno alle alte latitudini, mentre alcune regioni, come il Mediterraneo, dovrebbero risentire di una loro diminuzione in quantità totale, ma con una probabile tendenza all'aumento dell'intensità nei meno numerosi giorni piovosi.

GLI IMPATTI. – In questa situazione di cambiamenti climatici in atto e previsti, occorre valutarne le conseguenze e gli impatti sui territori, gli ecosistemi e, infine, l'uomo, con le sue infrastrutture, ma anche con le sue strutture sociali, la sua salute e le sue attività produttive, prima fra tutte l'agricoltura. Solo così si potrà apprezzare se pochi gradi in più saranno effettivamente critici per noi e per il nostro pianeta.

Gli studi di impatto dei cambiamenti climatici recenti sono sempre più diffusi e accurati, sfruttando anche il fatto che oggi siamo in grado di effettuare un notevole

abbassamento di scala (*downscaling*) delle proiezioni dei GCMs, per es. tramite modelli (RCMs, *Regional Climate Models*) con cui si studia il clima in aree più limitate, ma con più alta risoluzione spaziale. A valle di questi modelli, a cascata, se ne possono aggiungere altri più specifici che valutino conseguenze di vario tipo: idrogeologiche, agricole, per la fusione dei ghiacci e l'innalzamento del livello del mare, per gli impatti sulla salute e così via.

Un quadro generale della situazione degli impatti sul pianeta si può trovare negli ultimi tre rapporti speciali dell'IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2018, 2019a e 2019b). Il primo – in seguito a una valutazione dello scenario che vede un aumento di temperatura media globale di 1,5 °C, l'obiettivo più stringente posto dalla comunità scientifica e recepito nell'accordo di Parigi del 2015 – mostra gli impatti che si potrebbero avere se riuscissimo a contenere la temperatura media globale entro questo limite rispetto all'epoca preindustriale, in confronto con il presente e con scenari peggiori. Il secondo rapporto si riferisce agli impatti più specifici del riscaldamento globale sul degrado delle terre, con le conseguenze particolari che si hanno sull'insicurezza alimentare e su tutti i problemi connessi a quest'ultima. Il terzo, infine, riguarda lo stato degli oceani

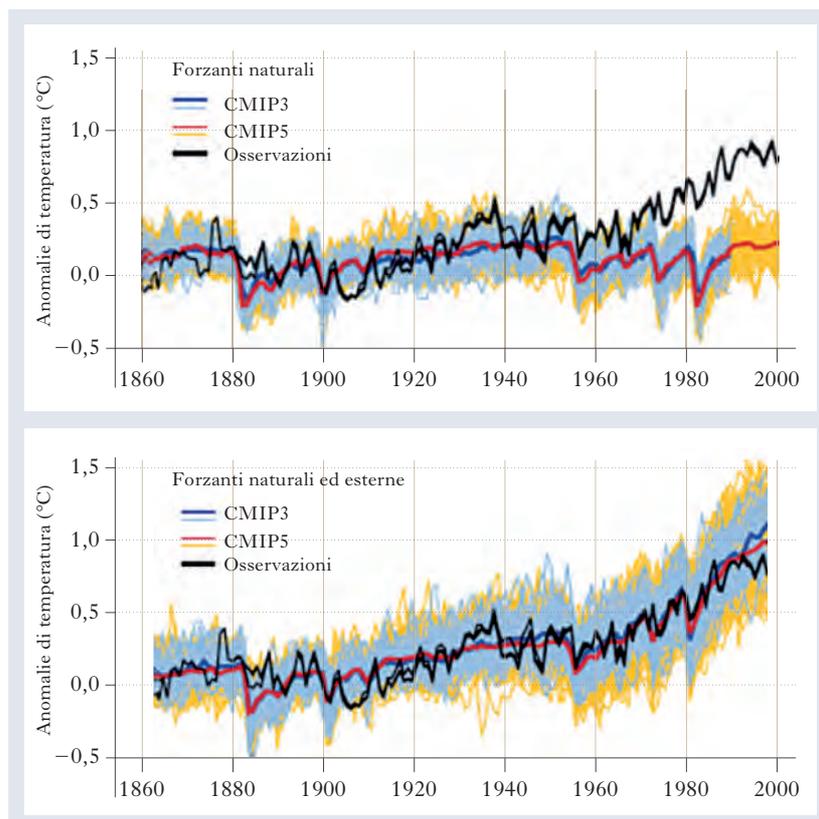


Fig. 2 – RICOSTRUZIONE DELLA TEMPERATURA MEDIA GLOBALE nel caso in cui si diano ai modelli tutti i valori reali delle forzanti esterne (in basso) e nel caso in cui, invece, si tengano fissi i valori delle forzanti antropiche a quelli di metà Ottocento (in alto); le linee colorate sottili sono relative ai singoli modelli, quelle marcate alle medie di *ensemble*. Fonte: IPCC 2013



INONDAZIONI NEI PRESSI DI GOOLE, East Yorkshire, Inghilterra, 2 marzo 2020
(fot. Christopher Furlong/Getty Images)

e dei ghiacci, l'innalzamento del livello del mare e in generale il ciclo dell'acqua.

Inoltre, un'analisi delle proiezioni degli impatti (sintetizzate nei vari rapporti IPCC) mostra come, negli ultimi anni, alla maggiore conoscenza scientifica si accompagna la valutazione di importanti rischi climatici a temperature future sempre minori, con la possibilità di superare (prima di quanto si pensasse un tempo) soglie di non ritorno di certi processi (Lenton, Rockström, Gaffney et al. 2019).

Gli impatti dei cambiamenti climatici sui territori, gli ecosistemi e l'uomo sono ovviamente differenziati a seconda delle zone del globo che si considerino. In generale, comunque, l'aumento di temperatura porta con sé un incremento anche della sua variabilità, con ondate di calore più intense e prolungate, e possibili lunghi periodi di siccità. Ciò ha un impatto maggiore nelle grandi città, dove va a sommarsi al fenomeno dell'isola di calore urbana. Qui, a caldo e umidità, si aggiunge la formazione di inquinanti fotochimici come l'ozono a partire dagli inquinanti primari (emessi, per es., dal traffico urbano). Tali inquinanti sono molto dannosi per la salute, soprattutto di anziani, bambini, asmatici, cardiopatici. In queste situazioni si possono stimare aumenti considerevoli di mortalità, specie nelle categorie a rischio.

L'aumento delle condizioni di siccità causa seri problemi per le specie vegetali di interesse agricolo, soprattutto per quelle più esigenti dal punto di vista idrico, portando alla riduzione dei raccolti e, nei Paesi più vulnerabili della fascia subtropicale, anche con perdite complete e carestie. In generale, la riduzione delle risorse idriche crea enormi problemi in tutti quei Paesi in cui si pratici un'agricoltura di pura sussistenza, con la conseguenza di aggravare non solo il problema dell'insicurezza alimentare, ma anche di innescare conflitti

e migrazioni forzate, ora esacerbate dalle nuove condizioni climatiche (IPCC 2019a).

L'aumento di temperatura conduce anche a una incrementata evaporazione di mari e oceani e a un maggiore calore trasferito da queste superfici all'atmosfera. Tutto ciò converge nella formazione di eventi estremi di precipitazione più intensi, che possono innescare alluvioni lampo (*flash floods*), con conseguenze molto gravi su territori fragili e magari fortemente antropizzati. Allo stesso tempo, l'incremento di temperatura dell'acqua degli oceani e la fusione dei ghiacci su Groenlandia, Antartide e sulle varie catene montuose sta facendo aumentare il livello del mare. Le nuove conoscenze scientifiche sulla dinamica della fusione dei ghiacci

fanno considerare troppo ottimistiche le precedenti proiezioni per questo innalzamento, che ora si ritiene possa superare il metro a fine secolo nello scenario *business as usual* (IPCC 2019b). Le conseguenze, non soltanto sugli atolli del Pacifico, ma anche sulle molte centinaia di milioni di persone (con le relative città e infrastrutture) che si trovano lungo le coste del mondo, potrebbero essere gravissime.

Gli impatti sono sicuramente differenziati, ma ubiquitari: esiste una vera e propria globalizzazione climatica. Ci sono, per es., piante e animali, così come vettori di malattie e parassiti, che stanno estendendo i propri areali; la biodiversità è fortemente minacciata; molte specie sono a rischio estinzione; le migrazioni transfrontaliere in cui è presente una componente di causa climatica sono sempre più frequenti. Ogni zona del mondo ha i suoi impatti peculiari.

Finora il clima è cambiato gradualmente, ma le sue caratteristiche di sistema complesso fanno temere che si raggiungano soglie in cui qualche feedback possa amplificare enormemente il riscaldamento e i cambiamenti a esso associati. I due esempi probabilmente più noti sono lo scioglimento dei ghiacci artici, che amplifica fortemente le temperature nell'Artico e influenza la circolazione atmosferica alle medio-alte latitudini dell'emisfero Nord, e la fusione del permafrost (suolo ghiacciato), fenomeno che tende a rilasciare enormi quantità di metano, con un grande feedback positivo sulle temperature globali. Questi processi rischiano di far raggiungere soglie di non ritorno per il sistema clima (Lenton, Rockström, Gaffney et al. 2019).

LE STRATEGIE DI AZIONE. – Il fatto che il riscaldamento globale recente sia causato soprattutto dagli influssi dell'attività umana, come mostrano gli studi di

CAMBIAMENTI CLIMATICI

attribution, consente di agire su queste cause per limitare, e possibilmente fermare, il riscaldamento futuro e, con esso, i suoi impatti peggiori. Si tratta sostanzialmente di ridurre le emissioni di gas serra da combustioni fossili e il non corretto uso del suolo (per deforestazione, agricoltura non sostenibile ecc.). Questa strategia di azione è detta *mitigazione* ed è essenziale per evitare di giungere a cambiamenti climatici così ampi e forti da produrre danni troppo ingenti e non più gestibili.

Nel frattempo siamo già oggi in presenza di una quantità considerevole di danni climatici di vario tipo e dunque occorre non soltanto mitigare, ma anche mettere in atto una strategia di ‘adattamento’. Ciò significa ripensare il territorio, l’agricoltura, le attività produttive, le nostre città, le nostre infrastrutture al clima cambiato, rendendole meno vulnerabili, facendo anche sì, al contempo, che i nostri beni e noi stessi siamo meno esposti ai fenomeni climatici dannosi.

Concretamente, per la mitigazione occorre attuare una grande transizione energetica, eliminando gradualmente la produzione di energia da combustibili fossili, ma anche passando a un tipo di economia ‘circolare’ e facendo sì che l’agricoltura (inclusi gli allevamenti) produca meno gas serra. Per l’adattamento occorre porre in essere azioni che adeguino l’agricoltura al clima mutato, per es. ottimizzando le risorse idriche, ma anche spostando le colture o introducendone di nuove, più adatte alla diversa situazione climatica. Tali azioni vanno intraprese per rendere più resilienti le nostre città a eventi estremi aumentati di intensità o più prolungati nel tempo. La situazione delle coste va attentamente valutata e azioni di difesa possono essere

intraprese nei casi estremi. Si può pensare alla rilocazione di strutture a rischio.

Ovviamente, ogni Paese dovrà intraprendere azioni di mitigazione e di adattamento sul proprio territorio. Ma la globalizzazione climatica non consente di fermarsi ad azioni nazionali: vi sono conseguenze sui singoli Paesi derivanti da mutamenti climatici che avvengono altrove. Un chiaro esempio risiede nei fenomeni migratori: fenomeni climatici, desertificazione e le loro conseguenze sui raccolti e su un’agricoltura di pura sussistenza nella fascia del Sahel hanno già spinto migranti verso l’Europa anche prima delle Primavere arabe (Pasini, Amendola 2019), e già decine, se non centinaia, di milioni di persone – un flusso che rischia di divenire insostenibile – sono pronte a esodi futuri, se si avvereranno gli scenari climatici peggiori.

In questa situazione globalizzata, occorre che i Paesi sviluppati adottino anche una strategia di ‘proiezione’ verso i Paesi più poveri, aiutandoli sia a crescere senza uso di combustibili fossili (mitigazione) sia a rendere meno vulnerabili i loro territori e le economie locali (adattamento).

IL NEGOZIATO INTERNAZIONALE. – I cambiamenti climatici sono ovviamente un problema globale e, come tali, vanno affrontati a livello della comunità di Stati rappresentata dall’ONU. Da qualche decennio, infatti, si è instaurato un negoziato internazionale per fronteggiare i rischi di interferenza delle attività umane con il sistema climatico, possibilmente prevenendoli. Così, dalla ratifica nel 1994 della Convenzione quadro sui cambiamenti climatici dell’ONU, questa strada negoziale ha raggiunto tappe importanti. Il protocollo



UN GREGGE VIENE NUTRITO E DISSETATO NEI PRESSI DI BOGGABRI, Nuovo Galles del Sud, Australia, 4 ottobre 2019.

La regione è stata colpita da una devastante siccità, la peggiore mai registrata dalla fine dell’Ottocento
(*foto. David Gray/Stringer/Getty Images*)

di Kyoto (sottoscritto nel 1997, ma entrato in vigore nel 2005) ha rappresentato il primo accordo di riduzione delle emissioni di gas serra, sia pure con una piccola diminuzione del 5% attuata solo dai Paesi sviluppati che, in seguito al Principio di responsabilità comune ma differenziata, hanno agito per primi. Il fatto che gli Stati Uniti non abbiano ratificato il protocollo ha reso questo accordo ancora più simbolico.

Nel 2015 si è raggiunto il primo vero accordo globale, l'accordo di Parigi. Nel testo vi sono affermazioni importanti, perché 195 Paesi del mondo, seguendo le indicazioni della comunità scientifica, concordano sul fatto che, per evitare gli impatti peggiori dei cambiamenti climatici di origine antropica, si debba rimanere in un aumento massimo a fine secolo di 2 °C rispetto alle temperature preindustriali, facendo inoltre di tutto per limitarsi a un aumento di solo 1,5 °C. Per far ciò, occorre che la seconda parte del secolo sia a emissioni nette di carbonio zero.

All'interno dell'accordo di Parigi i singoli Stati hanno presentato le loro riduzioni volontarie, che però non bastano per ottenere il risultato di limitare l'aumento della temperatura globale a 2 °C o, ancor meglio, a 1,5 °C. Con le riduzioni attuali, che però vanno riviste ogni cinque anni per renderle più ambiziose, non si raggiungono questi obiettivi, e la temperatura supererebbe molto probabilmente i 3 °C a fine secolo.

Dato che molti danni climatici già si vedono in tanti Paesi del mondo, nell'accordo di Parigi si è anche istituito un fondo per l'adattamento dei Paesi poveri e sono previsti meccanismi per far sì che questi Paesi si sviluppino in maniera climaticamente sostenibile. Gli Stati Uniti, che avevano ratificato l'accordo con il presidente Barack Obama, ne sono poi usciti con il presidente Donald Trump.

I MOVIMENTI DAL BASSO. – In un momento in cui i grandi della Terra non si mettono d'accordo, o lo fanno con un accordo che nel concreto è insufficiente per raggiungere gli obiettivi mostrati dalla comunità scientifica, sono nati molti movimenti dal basso per contribuire alla soluzione dell'emergenza climatica (parola dell'anno 2019 per l'*Oxford dictionary*). Il più noto è quello generazionale nato dalla giovane svedese Greta Thunberg, noto come Fridays for future.

In generale questi movimenti pongono molta attenzione agli studi scientifici e ai loro risultati e agiscono su varie linee: dalle azioni per mutare il proprio stile di vita, alla formazione di gruppi che inneschino circuiti virtuosi dal basso di consumo, risparmio, riciclo ecc., fino a una notevole spinta sulla classe politica, affinché si assumano politiche consistenti con gli obiettivi indicati dalla comunità scientifica per il bene comune dell'umanità.

BIBLIOGRAFIA: Y. HU, Q. FU, *Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979*, «Atmospheric chemistry and physics», 2007, 7, pp. 5229-36; A. PASINI, U. TRIACCA, A. ATTANASIO, *Evidence of recent causal decoupling between solar*

radiation and global temperature, «Environmental research letters», 2012, 7, 034020; IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), *Climate change 2013: the physical science basis*, ed. T.F. Stocker, D. Qion, G.-K. Plattner et al., Cambridge-New York 2013; F. MAZZOCCHI, A. PASINI, *Climate model pluralism beyond dynamical ensembles*, «WIREs climate change», 2017, 8, e477; A. PASINI, P. RACCA, S. AMENDOLA ET AL., *Attribution of recent temperature behaviour reassessed by a neural-network method*, «Scientific reports», 2017, 7, 17681; E.J. BROOK, C. BUZZERT, *Antarctic and global climate history viewed from ice cores*, «Nature», 2018, 558, pp. 200-08; IPCC, *Global warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers*, 2018; IPCC, *IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystem. Summary for policymakers*, 2019a; IPCC, *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Summary for policymakers*, 2019b; T.M. LENTON, J. ROCKSTRÖM, O. GAFFNEY ET AL., *Climate tipping points - too risky to bet against*, «Nature», 2019, 575, pp. 592-95; R. NEUKOM, N. STEIGER, J.J. GÓMEZ-NAVARRO ET AL., *No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial common era*, «Nature», 2019, 571, pp. 550-54; A. PASINI, S. AMENDOLA, *Linear and nonlinear influences of climatic changes on migration flows. A case study for the 'Mediterranean bridge'*, «Environmental research communications», 2019, 1, 011005; Q. SCHIERMEIER, *Ancient Antarctic ice holds record of Earth's climate*, «Nature», 2019, 567, pp. 442-43.

Antonello Pasini

CAPITALISMO. – MODELLI DI CAPITALISMO: RENANO E NEOAMERICANO. LA CONVERGENZA DEI MODELLI DI CAPITALISMO. IL NUOVO CAPITALISMO DI STATO. DEGLOBALIZZAZIONE E FINE DEL CAPITALISMO? Bibliografia

Il capitalismo promuove un ordine economico fondato sulla fede nella capacità del libero incontro di domanda e offerta di realizzare una ottimale allocazione delle risorse. A tal fine richiede un ordine politico posto a presidio della proprietà privata e della libera circolazione delle merci e dei fattori produttivi. L'esito è un ordine sociale nel quale l'inclusione si identifica con l'inquadramento nel mercato: un ordine instabile e animato da aspri conflitti, provocati fra l'altro dalla riduzione a merce della natura e del lavoro. Di qui l'individuazione dei compiti di volta in volta attribuiti allo Stato per rendere storicamente possibile il capitalismo e i relativi regimi di accumulazione, alla base delle frizioni che ne accompagnano lo sviluppo: in particolare la frizione tra capitalismo e democrazia e quella tra la dimensione sconfinata dei mercati e la dimensione nazionale dei sistemi di protezione sociale.

MODELLI DI CAPITALISMO: RENANO E NEOAMERICANO. – Lo studio delle diverse modalità utilizzate per rendere storicamente possibile il capitalismo ha preso piede dopo il crollo del socialismo, che aprì la strada all'affermazione di un ordine politico alla cui elaborazione