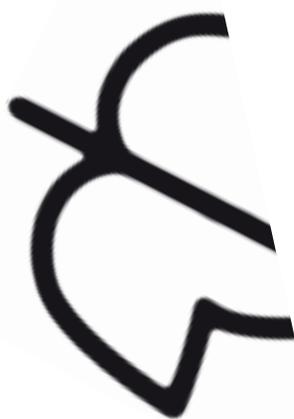


## Tempi storici e tempi geologici

Valerio Gennari, Giulia Margaritelli, Fabio Mariottini, Giulia Panfilì

Il sistema climatico terrestre sta subendo oggi rispetto al passato delle profonde mutazioni. Negli ultimi decenni, infatti, l'aumento delle temperature ha avuto ripercussioni sui sistemi naturali. In molte regioni si è assistito a un forte aumento delle precipitazioni, in altre alla loro riduzione, mentre lo scioglimento dei ghiacci perenni sta alterando il sistema idrogeologico mondiale. Un'accelerazione impressa soprattutto dalla mano dell'uomo



Nel dizionario della lingua italiana il concetto di “tempo” è definito genericamente come «l'intuizione e la rappresentazione della modalità secondo la quale i singoli eventi si susseguono e sono in rapporto l'uno con l'altro».

Proprio però per le molteplici sfumature che può assumere questa definizione (tempo storico, filosofico, astronomico, geologico, ecc.), è necessario distinguere il significato delle sue diverse accezioni. In questo caso ci concentreremo in particolare sulla differenza tra tempo geologico e tempo storico. Il tempo geologico è il tempo trascorso dall'origine della Terra fino ad oggi (circa 4,5 miliardi di anni), mentre il tempo storico, se si considera il suo inizio coincidente con quello della Preistoria, comprende il periodo che va da 2,5-3 milioni di anni fa fino ai giorni nostri. È evidente che la durata del tempo geologico è enormemente più grande rispetto a quella del tempo storico, per cui se potessimo ridurre tutta la storia del nostro pianeta a 24 ore, l'uomo moderno (*Homo sapiens*) sarebbe comparso solo nell'ultimo minuto prima della mezzanotte. La storia della vita sulla Terra è un susseguirsi di eventi positivi e negativi, risultato dei “tentativi”, più o meno riusciti, che le comunità biologiche, sia animali che vegetali, hanno messo in atto per resistere ai grandi sconvolgimenti dell'ecosistema in cui vivevano.

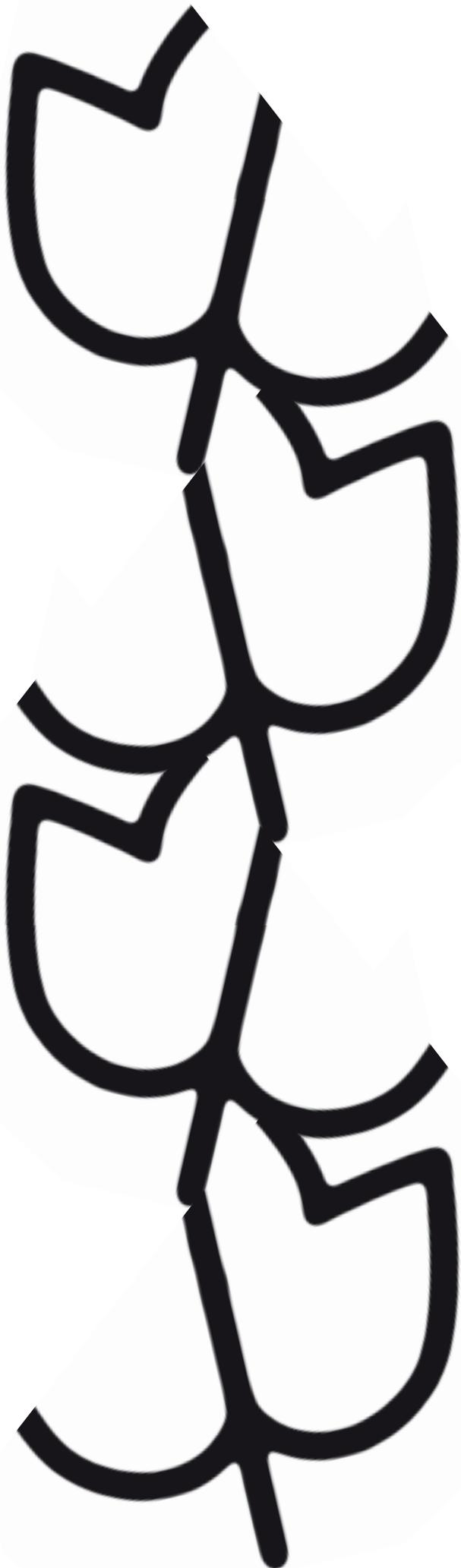
Questo percorso evolutivo, fatto di crisi ed estinzioni, ma anche di opportunità e rinascite, ha quindi sagomato la vita sul nostro pianeta nelle forme e caratteristiche che conosciamo oggi.

In questa disamina partiamo da così lontano perché nell'affrontare una fase di cambiamento climatico e di squilibrio ambientale come quella attuale, il con-

fronto con le crisi passate risulta essere di fondamentale importanza. La comunità scientifica definisce gli eventi durante i quali si registra una riduzione significativa della diversità tassonomica a scala globale (>65% del biota totale) come “estinzioni di massa”.

Queste, che rappresentano momenti eccezionali, si differenziano dalle “estinzioni di fondo” che sono invece da considerarsi un fenomeno normale per l'economia della natura e che coinvolgono solamente le specie più deboli e specializzate. Le cause che portano a un'estinzione di massa sono molteplici e variabili. Una prima grande distinzione viene fatta tra cause interne (biologiche) ed esterne (ambientali) al biota. Tra le cause biologiche, oltre alla proliferazione di virus e batteri e ai momenti di estrema competizione tra specie, viene inserito anche l'impatto antropico. Le cause ambientali sono invece costituite da grandi perturbazioni dell'ecosistema in senso lato e si dividono in terrestri ed extraterrestri. Tra le terrestri, le principali sono rappresentate dai grandi cambiamenti climatici a scala globale che possono mettere in crisi l'intera comunità biologica e dalle rapide variazioni del livello marino. Le cause extraterrestri includono invece tutti gli impatti che il nostro pianeta può avere con corpi esterni (asteroidi, comete, ecc.).

All'inizio degli anni '80 la ricerca scientifica riguardante i grandi eventi di crisi biologica è cresciuta esponenzialmente, portando a una vera e propria “*mass-extinction industry*” che vide la produzione di migliaia di articoli scientifici sull'argomento. Fino ad oggi, i principali eventi di estinzione di massa registrati durante tutta la storia della Terra sono cinque e vengono chiamati “*The Big Five*”. Il più



antico viene registrato alla fine dell'Ordoviciano (circa 440 milioni di anni fa) e vide la perdita dell'85% delle specie viventi. La probabile causa fu una rapida diminuzione del livello del mare legata a una prolungata glaciazione. In quel periodo di tempo, infatti, le terre emerse erano unite in un unico supercontinente chiamato Gondwana che venne quasi completamente ricoperto di ghiaccio. A testimonianza di questo drastico raffreddamento del clima abbiamo ritrovamenti di depositi glaciali in molte parti del mondo, persino in prossimità dell'equatore.

Successivamente, una seconda estinzione di massa avvenne nel Devoniano superiore (365 milioni di anni fa). L'82% delle specie viventi scomparve, probabilmente a causa di una serie di impatti provocati da asteroidi; ancora oggi, però, questa ipotesi non è completamente confermata. Si sa infatti che non fu un evento improvviso, poiché la sua durata è stata stimata intorno ai 3 milioni di anni. Si trattò di un'estinzione selettiva: risultarono infatti maggiormente colpite le specie di bassa profondità rispetto a quelle di acque più profonde, gli organismi delle zone tropicali ri-

**L'estinzione più drastica è quella verificatasi tra il Permiano e il Triassico, quando scomparvero circa il 70% dei vertebrati terrestri**

petto a quelli di latitudini più alte e quelli marini rispetto a quelli di acqua dolce, dei quali sopravvisse circa il 77%.

La distruzione dei coralli fu così estesa che non ricomparvero se non dopo circa 100 mila anni.

La più drastica tra le cinque estinzioni è quella verificatasi a cavallo tra la fine del Permiano e l'inizio del Triassico (250 milioni di anni fa), durante la quale scomparve circa il 96% delle specie marine e il 70% dei vertebrati terrestri. A provocare questa grave crisi ambientale fu una serie di eruzioni vulcaniche i cui prodotti formano oggi il Trappo Siberiano. Queste emissioni, che costituiscono uno dei più grandi eventi vulcanici avvenuti sulla Terra, ricoprirono di lava oltre 2.000.000 di km<sup>2</sup> di superficie. L'immissione di ingenti quantità di gas vulcanici provocata da tale evento generò un repentino riscaldamento globale e un conseguente sconvolgimento climatico che portarono alla scomparsa quasi totale della vita sulla Terra. Simile a quella

appena descritta, anche se di minore intensità, è la crisi biologica della fine del Triassico (201 milioni di anni fa) durante la quale scomparve il 76% delle specie. Come la precedente, essa appare strettamente correlata a un grande evento vulcanico: la messa in posto della provincia magmatica Centro-Atlantica (CAMP) le cui colate basaltiche ricoprivano un territorio di circa 11 milioni di km<sup>2</sup> e si estendevano in varie regioni che oggi si affacciano sull'oceano Atlantico, ma che in quel periodo erano adiacenti. Conseguenza di questo massiccio vulcanesimo furono le grandi immissioni di gas serra (SiO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) sia in atmosfera che negli oceani, che provocarono un deterioramento climatico determinando condizioni estremamente umide e un'acidificazione diffusa delle acque marine.

L'ultima e la più famosa delle cinque grandi estinzioni di massa avvenne alla fine del Cretacico (65 milioni di anni fa) ed è anche chiamata "estinzione del K/T" poiché si registra a cavallo tra il Cretacico e quello che precedentemente veniva chiamato Terziario (oggi Paleogene e Neogene). Questo episodio portò alla scomparsa di circa il 76% delle specie viventi, tra cui i dinosauri. Per molto tempo la causa di questa estinzione è stata identificata in un impatto meteoritico (Chicxulub Crater, Messico). Nel 1980, il premio Nobel per la fisica Luis Alvarez, suo figlio Walter e Frank Asaro misurarono in alcuni strati sedimentari risalenti a questo periodo di tempo e campionati nella Gola del Bottaccione (Gubbio), la presenza di una concentrazione insolita di iridio, elemento chimico piuttosto raro sulla Terra, ma comune nelle meteoriti. Questa ipotesi è stata però recentemente affiancata da un'altra, ritenuta più valida, di una serie incredibilmente violenta di eruzioni vulcaniche avvenute nel Deccan, una regione dell'India, che ebbero conseguenze climatiche simili a quelle descritte per le due precedenti estinzioni. L'acquisizione di serie storiche finalizzata a una più profonda comprensione del sistema climatico terrestre e a una più adeguata previsione della sua evoluzione futura, rappresenta attualmente uno dei compiti prioritari della comunità scientifica. In



particolare, analizzare le dinamiche del clima del pianeta attraverso la sua storia passata risulta l'unico strumento di analisi per poterne comprendere le modalità evolutive a medio e lungo termine. In questo quadro, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, con il Progetto di Interesse NextData, ha negli ultimi anni indirizzato le proprie attività di ricerca nel Mediterraneo attraverso l'acquisizione di nuovi dati per la comprensione del clima e dei suoi cambiamenti negli ultimi millenni. L'accesso a informazioni quantitative sulle variazioni climatiche presenti e passate risulta infatti fondamentale per ottenere un quadro completo della situazione climatica e ambientale che ci stiamo trovando ad affrontare. Il confronto tra la storia ambientale degli ultimi secoli e lo sviluppo umano, a partire dal periodo Romano, quando l'uomo inizia a interagire in maniera più consistente con l'ecosistema, ci può in questo senso risultare di grande utilità.

L'Impero Romano d'Occidente cadde nel 476 d.C., nell'800 d.C. ci fu l'incoronazione di Carlo Magno, nel 1348 la peste nera raggiunse la sua massima espansione. I testi di storia non ci danno informazioni su quello che poteva essere il contesto climatico e ambientale in cui questi fondamentali eventi si verificarono ma, alla luce di recenti ricerche, si è visto che i cambiamenti climatici hanno svolto un ruolo fondamentale nella riorganizzazione sociale in Europa nel tardo Olocene. Dati scientifici estrapolati da archivi naturali (sedimenti marini, carote di ghiaccio, coralli, anelli degli alberi) integrati con dati archeologici e storici, ci danno la possibilità di ricostruire la storia del clima e, di conseguenza, quella dell'uomo negli ultimi 2000 anni.

Il Periodo climatico Romano copre nell'area mediterranea un lasso di tempo compreso tra il 500 a.C. e il 500 d.C. Dati scientifici, provenienti soprattutto da carotaggi marini, ci danno informazioni su una prima fase di tale Periodo caratterizzata da temperature più basse della norma. Gli storici romani riportano dell'inverno del 400-399 a.C., quando caddero su Roma sette piedi di neve, che rimase a lungo sulla città, gelando il fiume Tevere e provocando la

perdita di greggi, sepolti dalla neve, la perdita degli alberi da frutto, nonché il crollo dei tetti di molte case, sia per il peso della neve stessa, che per il ciclo del gelo-disgelo (*Storia di Roma Antica*, Dionigi di Alicarnasso). Il Tevere gelò anche nell'inverno del



**Le oscillazioni climatiche nel Medioevo sono state oggetto di molta attenzione da parte della comunità scientifica**

275 a.C., quando la neve rimase su Roma per 40 giorni (*De civitate Dei*, Sant'Agostino).

Negli anni successivi il clima divenne più mite favorendo, molto probabilmente, l'espansione della civiltà romana nel Mediterraneo. In questo periodo, lo storico e fondatore della Scienza Agricola Columella, nel suo *De Rei Agricola*, cita lo spostamento verso il Nord Italia delle colture della vite e dell'olivo, mentre Plinio afferma che il faggio, che un tempo si manteneva alla latitudine di Roma, si era invece spostato fino all'Italia Settentrionale. Tale prosperità terminò nella fase finale del Periodo Romano, caratterizzato dal persistere di forti sbalzi climatici, che si verificarono in particolare tra il 250 e il 600 d.C., legati probabilmente anche a minimi dell'attività solare. Questa fase, in termini storici, coincise con la distruzione dell'Impero Romano d'Occidente e con l'inizio delle grandi migrazioni. Alcune pubblicazioni descrivono anche i secoli che seguirono la caduta dell'Impero Romano, contraddistinti da un miglioramento delle condizioni climatiche, in accordo con dati storici che descrivono le rovine della città di Roma immerse in una folta vegetazione.

Le oscillazioni climatiche che caratterizzarono il Medioevo sono state oggetto negli ultimi anni di molta attenzione da parte della comunità scientifica. Meglio noto come il Periodo Caldo Medioevale, questa fase, che va dal IX al XIII secolo d.C., è marcata da condizioni climatiche miti e molto stabili. Questi furono infatti gli anni della colonizzazione vichinga della Groenlandia, favorita da un innalza-

mento prolungato delle temperature, che causò la ritirata dei ghiacci e una conseguente maggior facilità di navigazione nei freddi mari dell'estremo nord del mondo. Nel *Mare Nostrum* questo periodo fu caratterizzato dall'introduzione di nuove colture agricole, prime fra tutte grano e cereali grazie anche all'assenza di forti precipitazioni.

Il passaggio dal Medioevo alla successiva Piccola Era Glaciale risulta essere l'ultimo rapido evento di cambiamento climatico globalmente riconosciuto. Si trattò di una fase sin dal suo inizio estremamente fredda, la più fredda degli ultimi 2000 anni. Non fu



**Oggi la presenza di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera è 410 ppm, rispetto ai 280 ppm del periodo precedente la rivoluzione industriale**

una vera e propria Era Glaciale, ma furono secoli (dal 1250 al 1800 circa) caratterizzati da inverni molto rigidi ed estati brevi e miti. Non a caso, proprio in questo periodo si sono concentrate le più grandi pestilenze e carestie che sconvolsero l'Europa e il resto del mondo. I dati scientifici ci suggeriscono anche che durante il Maunder (1645-1715), una delle quattro fasi di minimo di insolazione che caratterizzano la Piccola Era Glaciale, l'area Mediterranea fu probabilmente interessata da un evento atmosferico noto come *Atmospheric Blocking*, che causò freddi e duraturi venti provenienti dal Nord Europa.

Ma è nella seconda metà del XVIII secolo, con la rivoluzione industriale, che si verificarono i profondi cambiamenti nel rapporto tra uomo e natura che hanno poi determinato anche una trasformazione rilevante del sistema climatico terrestre. A questo proposito scriveva già più di trenta anni fa Enzo Tiezzi su *Tempi storici tempi biologici*: «Per milioni di anni l'uomo ha usato energie rinnovabili: il sole, gli alberi, ecc. Pochissimo tempo fa (in termini di storia biologica) l'uomo ha scoperto le energie non rinnovabili (carbone, petrolio, uranio) iniziando un processo caratterizzato da due effetti negativi: 1) lo scarico nell'ambiente del calore e dei prodotti di

combustione in un tempo biologicamente brevissimo (1-2 generazioni) rispetto al tempo in cui tali risorse erano state accumulate nel pianeta (milioni di anni) senza dare al sistema naturale la possibilità di recuperare l'aggressione subita; 2) l'immissione nel sistema economico di valori presi alla natura a beneficio di 1-2 generazioni defraudando le future generazioni di un bene comune e non riproducibile e creando un benessere fittizio per un tempo brevissimo nella storia dell'umanità». Per capire meglio quanto sia stata determinante in questi ultimi la «variabile umana» nei mutamenti climatici, è necessario ricostruire, almeno per sommi capi, la storia della presenza dell'uomo sul pianeta. La parte di «storia» condizionata dalla presenza antropica può essere riconducibile a 10.000 anni fa, al termine della grande glaciazione iniziata nel Pleistocene. In quel periodo la popolazione mondiale si attestava intorno a 1 milione di individui; oggi, in un lasso di tempo irrisorio rispetto ai 4,5 miliardi di anni di età della Terra, abbiamo raggiunto i 7,5 miliardi di abitanti. L'impatto dell'uomo sul pianeta è così cresciuto in maniera esponenziale, determinando anche una diseguale distribuzione demografica che contribuisce a rendere più complesse le criticità ambientali.

La presenza di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, che all'inizio della rivoluzione industriale si attestava intorno a 280 ppm, è arrivata oggi a 410 ppm (livello mai raggiunto negli ultimi 800.000 anni). A determinare questo aumento è per lo più l'uso dei combustibili fossili (carbone, olio, gas naturale) per produrre energia. Questa crescita repentina ha generato un aumento della temperatura le cui conseguenze si stanno già manifestando: ritiro dei ghiacciai, aumento degli eventi atmosferici estremi, crescita del livello dei mari, impatti sugli ecosistemi più vulnerabili, diffusione di malattie.

Ma la rivoluzione industriale ha rappresentato anche una fase determinata per lo sviluppo umano modificandone paradigmi, relazioni, modo di vivere e di produrre. Con essa si genera un utilizzo diverso delle risorse naturali, del tempo, dello spazio, dei ritmi di vita e di lavoro. Nelle società preindustriali, infatti,



esistevano forti legami con l'ambiente di appartenenza, rapporti primari forti, per lo più familiari o tribali, scarsa mobilità sociale, energia fornita essenzialmente dal sole, dal vento, dagli uomini o dagli animali. La società urbano-industriale è invece caratterizzata da una maggiore mobilità, dall'allentamento dei vincoli primari, dalla dilatazione delle relazioni secondarie tra individui e da un indebolimento del legame con i luoghi. L'energia viene ricavata da fonti fossili (carbone e petrolio) e elettricità; nascono nuovi materiali: acciaio, cemento, plastica.

L'accelerazione impressa dal progresso tecnologico e scientifico porta però a una divaricazione tra la curva dei tempi della natura e quella dell'uomo e a un distacco tra sistema produttivo e contesto naturale. Un processo che, alla lunga, ci porterà a formulare un altro concetto: la "finitzza" delle risorse naturali. A questi processi corrisponde anche una trasformazione del territorio, laddove l'urbanizzazione tenderà ad assumere un ruolo di vitale importanza. Sono proprio le città, infatti, che determineranno la misura dell'impronta ecologica dell'uomo. Negli Usa, ad esempio, Chicago che nel 1850 contava 30.000 abitanti, raggiunse quota 1.100.000 nel 1900. In Europa, nel ventennio 1850-1870, Berlino passò da 400.000 a 1.000.000 di abitanti, Parigi da 1 milione a 2 milioni, Londra da 2,5 milioni a 4 milioni. In Italia, Paese di seconda industrializzazione, per avere cifre così significative si dovrà aspettare la seconda metà del XX secolo, quando Milano (1950-970) da 1.260.000 passò a 1.724.000 abitanti e Roma compì un balzo da 1.652.000 a 2.800.000 persone.

La rivoluzione industriale, oltre a trasformare lo stile di vita delle nuove comunità, modificherà anche il sistema di produzione delle merci, che diventerà seriale, nonché il metodo di scambio, che si troverà a dover operare in un perimetro sempre più esteso. Entrambi i passaggi richiederanno un grande apporto energetico e, quindi, un impiego sempre maggiore di risorse naturali. Questo modello diventerà così il minimo comune multiplo sul quale crescerà, seppure in maniera sperequata, il sistema economico che ha governato e guida ancora l'attuale modello di sviluppo.

I processi di accumulazione del reddito, però, sono diventati così rapidi e mutevoli che, mentre pochi anni fa, per esempio, i modelli previsionali studiati dagli economisti e dalle grandi compagnie petrolifere analizzavano la curva di esaurimento dei combustibili fossili, oggi tali metodologie paiono superate dalle esigenze determinate dalle rapide mutazioni climatiche di mantenere sottoterra le riserve fossili, per non aumentare le concentrazioni dei gas serra che stanno minacciando la biosfera, la salute e le condizioni di vita dell'intero pianeta. Negli ultimi decenni, infatti, l'aumento delle temperature ha avuto ripercussioni sui sistemi naturali di tutti i continenti e gli oceani. In molte regioni si è assistito a un forte aumento delle precipitazioni, in altre alla loro riduzione, mentre lo scioglimento delle nevi perenni e dei ghiacci sta alterando il sistema idrogeologico mondiale, con conseguente impatto sulla quantità e qualità delle risorse idriche. Oggi si sente molto parlare di una "sesta estinzione di massa" legata all'aumento della temperatura del pianeta. Quello che si può affermare è che, anche se tale sconvolgimento climatico affondasse le radici su un ciclo naturale, i tempi e l'intensità del cambiamento sono certamente imputabili all'azione umana e le conseguenze, proprio in virtù della complessità dei processi ecologici, non sono calcolabili in tutti i loro effetti. Questa relazione tra "mutazioni" e "tempi" raccomanda all'uomo l'assunzione di nuove responsabilità nel perseguimento di un drastico cambiamento di rotta e impone una riflessione culturale sulla definizione di una nuova "coscienza di specie" basata sulla convivenza e la compatibilità e non sul dominio e lo sfruttamento del pianeta.

L'aspetto positivo di questo quadro piuttosto fosco è che le energie rinnovabili stanno rapidamente conquistando un ruolo determinante anche sullo sviluppo di Paesi come Cina e India, che dovrebbero

raggiungere gli obiettivi stabiliti a Parigi molto prima del 2030, tentando di compensare così l'aumento delle emissioni che si profila negli Usa a causa dell'attuale politica perseguita da Donald Trump, sempre più orientata verso un anacronistico ritorno alle fonti fossili. Un ruolo determinante nel tamponamento di questa dissennatezza può essere giocato dalle tecnologie legate a eolico e solare, sempre più efficaci e meno costose. Stanno inoltre andando avanti i processi di cattura e sequestro geologico dell'anidride carbonica (*Carbon Capture and Sequestration* - CCS). Contemporaneamente, vengono perfezionati i motori elettrici per i mezzi di trasporto che rappresentano una delle fonti di maggiore produzione di gas serra. A tale proposito, alcune stime di importanti aziende produttrici di automobili prevedono che nel 2030 il 60% dei veicoli saranno elettrici. Sempre sul piano delle previsioni bisogna aggiungere che l'Africa, accreditata attualmente per l'uso di energie rinnovabili di uno scarso 5%, si appresta al grande balzo che può portarla entro pochi anni a sostituire parte dell'apporto di carbone con le energie pulite.

Per alcuni scienziati, comunque, il modesto contenimento delle emissioni, come quello prospettato a Parigi, non riuscirà a compensare i livelli di concentrazione di CO<sub>2</sub> determinati da quel 50% in più di domanda di energia correlata all'aumento degli standard di vita dei Paesi in crescita. È qui che il quadro economico può giocare un ruolo determinante, passando da un modello lineare, che la crisi degli ultimi dieci anni ha dimostrato ormai obsoleto, a un sistema circolare improntato sull'efficienza e la riduzione dello spreco. Per raggiungere i risultati auspicati, tuttavia, sarà determinante il contributo dell'uomo, che dovrà iniziare a fare i conti con uno stile di vita più sobrio e, soprattutto, con l'idea di una globalizzazione economica e sociale delle risorse.