

Ambiente e limiti planetari

Speaker:

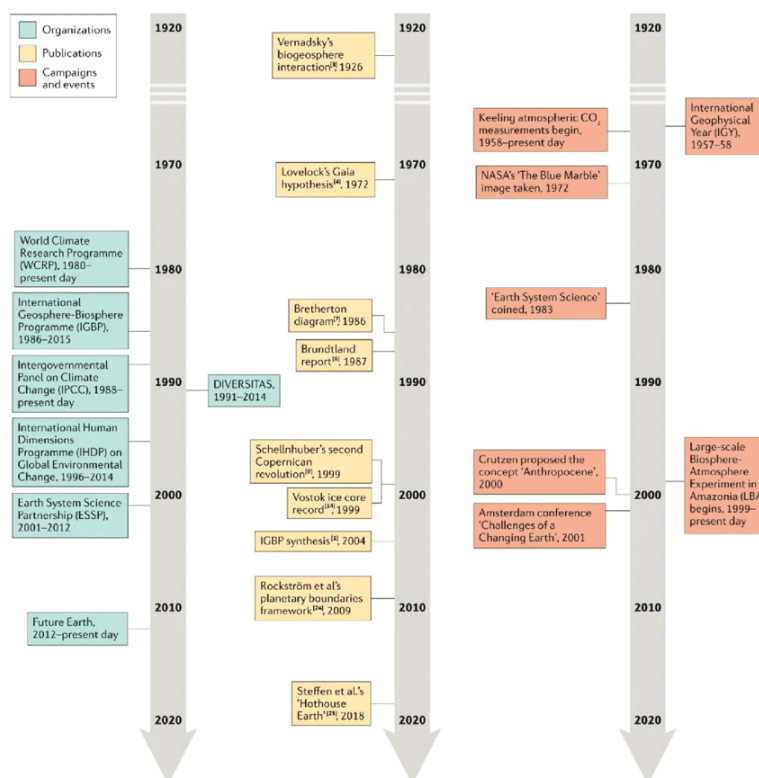
- **Fabio Trincardi**, direttore del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente del CNR.
- **Paola Mercogliano**, Responsabile della divisione Regional Models and geo-Hydrological Impacts (REMHI) del CMCC.
- **Simona Castaldi**, Professoressa di Ecologia, Università degli Studi della Campania.

Executive summary

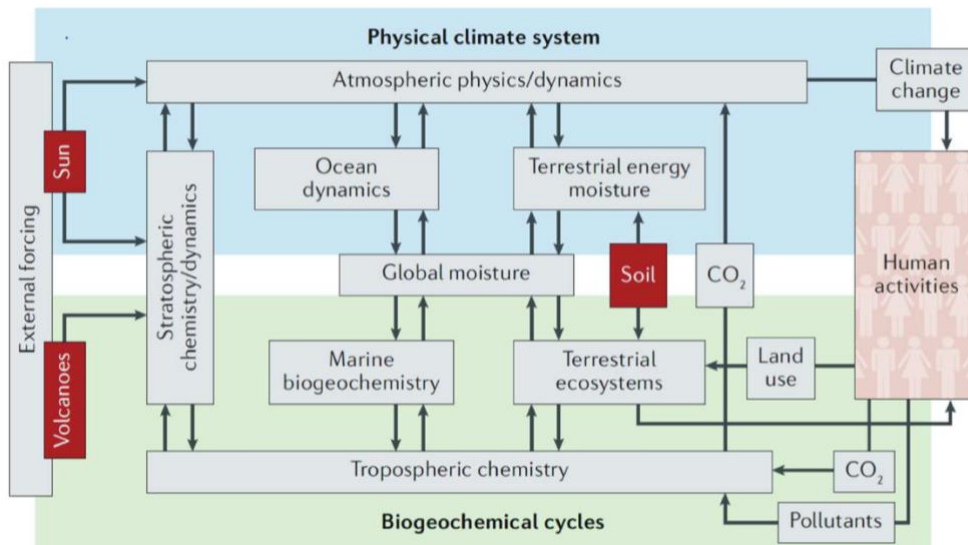
- Il **Sistema Terra** è la consapevolezza del nostro Pianeta come "Sistema" complesso e adattivo, una rete di interazioni e retroazioni.
- Il **Diagramma di Bretherton** rappresenta l'inizio di questo approccio sistemico che, sin dalle prime versioni, mette in evidenza il peso delle attività umane come forza di cambiamento. Una sua rielaborazione (Steffen, 2020) evidenzia ulteriormente come i fenomeni sociali (come disuguaglianze e povertà) risultino essere influenzati dai cambiamenti climatici.
- A partire dal 1950, la velocità dei cambiamenti del Sistema Terra è aumentata drammaticamente in correlazione diretta ai cambiamenti del sistema economico globale: Steffen e altri autori hanno definito questo fenomeno "la **Grande Accelerazione**".
- Il concetto di *planetary boundaries* è legato a quanto l'uomo può impattare sulle risorse del Pianeta prima di arrivare ad uno scenario in cui le conseguenze dello sfruttamento diventano imprevedibili per la scienza.
- L'evidenza maggiore degli impatti antropici è l'**aumento di temperatura della Terra** e la destabilizzazione del sistema avviene attraverso i *Tipping elements*, ovvero salti irreversibili o punti di rovesciamento.
- Il termine **cambiamento climatico** indica variazioni statisticamente significative dello stato medio del clima o della sua variabilità, persistente per un periodo esteso di tempo.
- Per stabilire un nesso di causalità tra attività antropica e cambiamento climatico sono serviti molti studi negli anni. Nel 2013, nel suo 5° Rapporto, l'IPCC ha potuto affermare che "**l'influenza umana sul sistema climatico è chiara**": l'uomo sta aumentando la concentrazione di gas climalteranti nell'atmosfera e il Sistema Terra non è più in grado di farvi fronte.
- I **modelli climatici** sono un insieme di equazioni matematiche rappresentanti leggi fisiche che descrivono l'evoluzione del sistema climatico e consentono di fare delle **proiezioni** (risposte simulate del sistema climatico a uno **scenario** di emissioni future o di concentrazione di gas serra). Esistono modelli climatici globali e modelli su scala regionale.
- Ci sono diversi trade-off e importanti **decisioni politiche** che il cambiamento climatico e le politiche adattive pongono; pertanto, le decisioni andrebbero prese con una prospettiva di lungo termine.
- La **biodiversità rappresenta la varietà e la variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui questi vivono**.
- La **biodiversità è un valore che tocca tutti i servizi ecosistemici planetari che la natura offre** e entra in maniera pervasiva anche in tutti gli altri sistemi di supporto e regolazione fondamentali sulla Terra, nonché nei valori estetici e culturali dove il paesaggio e la natura costituiscono un elemento indispensabile (un esempio è la **relazione tra la biodiversità e il sequestro di carbonio**: gli ecosistemi possono contribuire ad abbassare la concentrazione di CO₂ in atmosfera grazie a un motore primario della vita sulla Terra, la fotosintesi).
- Uno degli elementi fondamentali per la vita degli ecosistemi è la **biodiversità del suolo** che garantisce suoli sani e contribuisce a purificare inquinanti che dal suolo arriverebbero nelle acque.
- Fattori quali l'introduzione di **coltivazioni, la meccanizzazione dell'agricoltura, la compattazione, l'utilizzo di fertilizzanti di sintesi e pesticidi danneggiano la biomassa**, e quindi il nutrimento che supporta la biodiversità, generando un *loop negativo* che tende a ridurre la produttività e richiedere ulteriori interventi dannosi per l'ambiente.
- Le **principali cause del declino della biodiversità** sono il cambio di uso degli ecosistemi, passando da naturali e antropizzati, dallo sfruttamento diretto di risorse, dal cambiamento climatico, dall'inquinamento, dalle specie invasive aliene e altri fattori variabili. L'impatto sulla biodiversità dipende anche dagli scenari di cambiamento climatico: con un clima più caldo la perdita di biodiversità sarà più ampia e precoce.

Il Sistema Terra, l'impatto antropico, i limiti planetari e i *tipping elements*

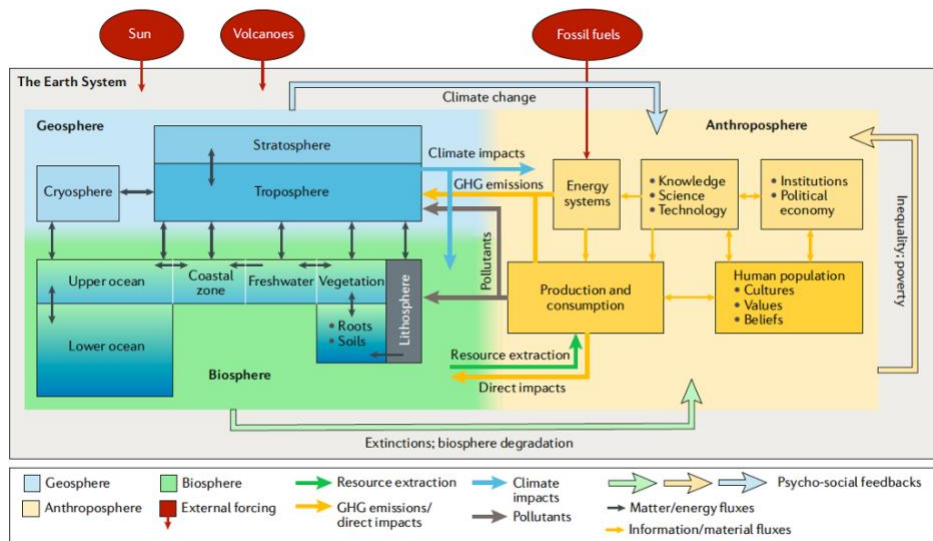
Parlare di Sistema Terra richiede uno sforzo inter e transdisciplinare per capire la struttura e il funzionamento della Terra vista come sistema complesso e adattivo. L'approccio sistemico si è evoluto in oltre un secolo mettendo in luce l'interazione di processi fisici, chimici e biologici tra Atmosfera, Criosfera, Oceano, Terra e Litosfera. Per "Earth Systems Science", quindi, si intende la consapevolezza della Terra come "Sistema": non una somma di componenti ma una rete di interazioni e retroazioni.



Dopo i primi studi, tra cui I Limiti dello Sviluppo (1972), Primavera Silenziosa e il [modello di Gaia di Lovelock](#), il **Diagramma di Bretherton del Sistema Terra** rappresenta l'inizio di tale approccio sistemico. Nelle sue prime versioni, il diagramma mette in luce le interazioni tra le componenti del sistema, studia l'interazione tra processi (invece di studiare processi isolati) e guida osservazioni globali integrate e modelli di previsione. Ma soprattutto, mette in evidenza il peso delle attività umane come forza di cambiamento, anche se ancora non le considera centrali.



Rispetto alla prima versione del modello, la rielaborazione di Steffen (2020) rappresenta una maggiore complessità: compare la Criosfera, l'Oceano diventa stratificato, si distingue la zona costiera dall'Oceano, il ruolo dell'acqua dolce diventa importante, la vegetazione e i suoli sono al centro, l'atmosfera è suddivisa opportunamente. Inoltre, l'antroposfera appare complessa: fenomeni sociali come le disuguaglianze e la povertà risultano essere influenzati dai cambiamenti climatici.



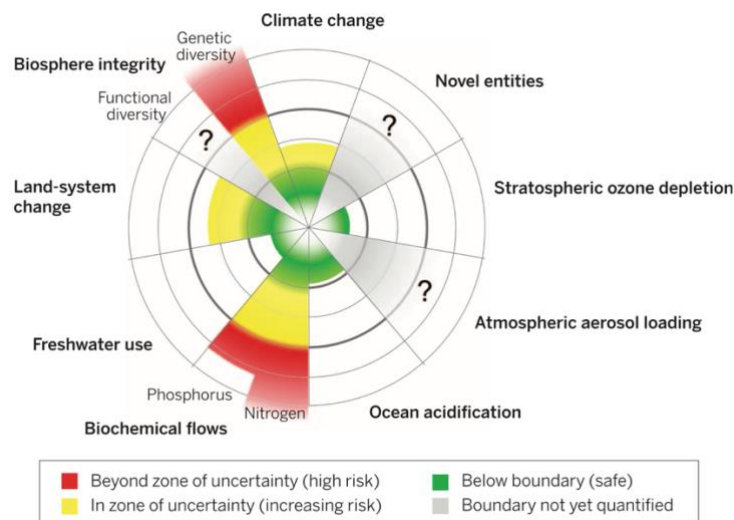
Steffen et al., 2020 SCIENCE

Mettendo a confronto i trend socio-economici e i trend di cambiamento del Sistema terra dall'inizio della rivoluzione industriale, Steffen e altri autori hanno parlato della "Grande Accelerazione" rilevando che a partire dal 1950 la velocità dei cambiamenti è aumentata drammaticamente: i più grandi cambiamenti del Sistema Terrestre sono divenuti direttamente collegati ai cambiamenti del sistema economico globale. Sempre più, fenomeni quali la crescita della popolazione globale, del PIL, della produzione e del consumo di energia si riflettono in aumento delle emissioni di anidride carbonica, acidificazione degli oceani, perdita di biodiversità e aumento della temperatura globale ecc., che rappresentano il prezzo che l'ambiente paga per consentire un certo modello di sviluppo umano.

Uno dei principali driver dell'impatto umano sulla Terra è l'**urbanizzazione**. Oggi più del 50% della popolazione globale vive nelle città. Entro il 2050, si arriverà al 75%, con ulteriori 2 miliardi di inurbati. È in atto uno spostamento di 1.5 milioni di persone alla settimana per i prossimi 30 anni: questo comporta conseguenze anche antropologiche in quanto i giovani cresceranno con l'idea che ci sia un flusso costante di materia e di energia che viene da qualche parte e che sostiene le città, ma il flusso non sarà scontato nel tempo. Inoltre, la maggior parte delle mega-cities (che oggi si stanno costruendo soprattutto in Asia) sono ubicate nel primo metro sopra il livello del mare e quindi minacciate dal suo innalzamento antropogenico.

Un altro aspetto dell'Antropocene è l'**interconnessione**: la globalizzazione ha ricostruito PANGEA collegando i continenti a livello di scambio di informazioni, merci, persone e specie animali. Lo «scambio colombiano» ha portato diverse specie da un continente all'altro, oggi lo fanno le rotte commerciali e turistiche.

I **limiti planetari** sono un modo sintetico di guardare i problemi del Pianeta: sono 7 ma è in corso un aggiornamento riguardo altri aspetti dell'inquinamento. Il concetto di *boundary* è legato a quanto l'uomo può impattare sulle risorse del Pianeta prima di arrivare ad uno scenario in cui le conseguenze dello sfruttamento diventano imprevedibili per la scienza.

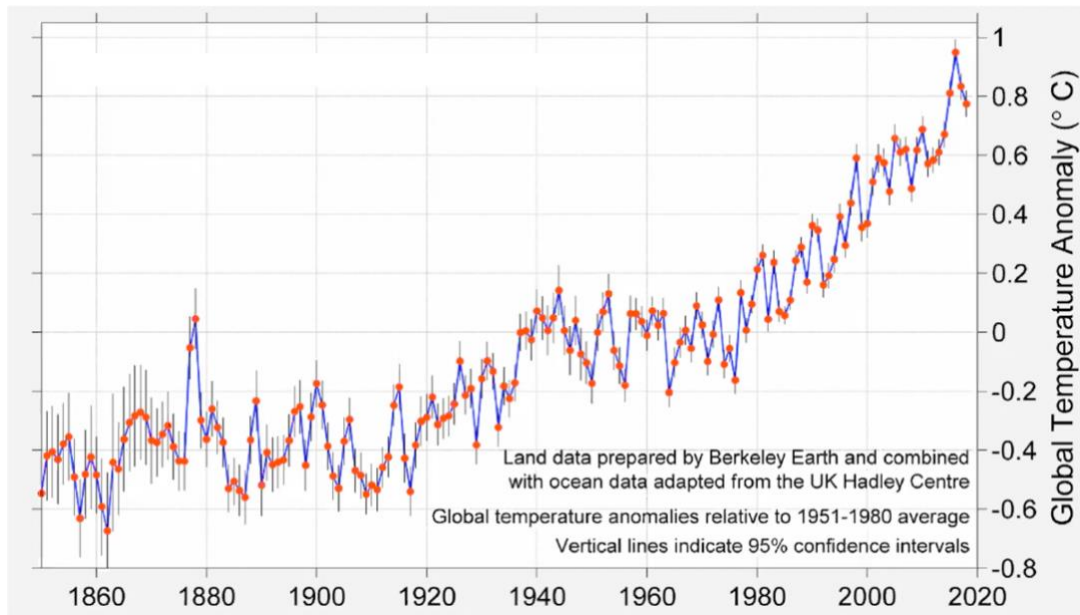


I limiti che abbiamo già superato riguardano la perdita di biodiversità e il ciclo dell'azoto e del fosforo. Inoltre:

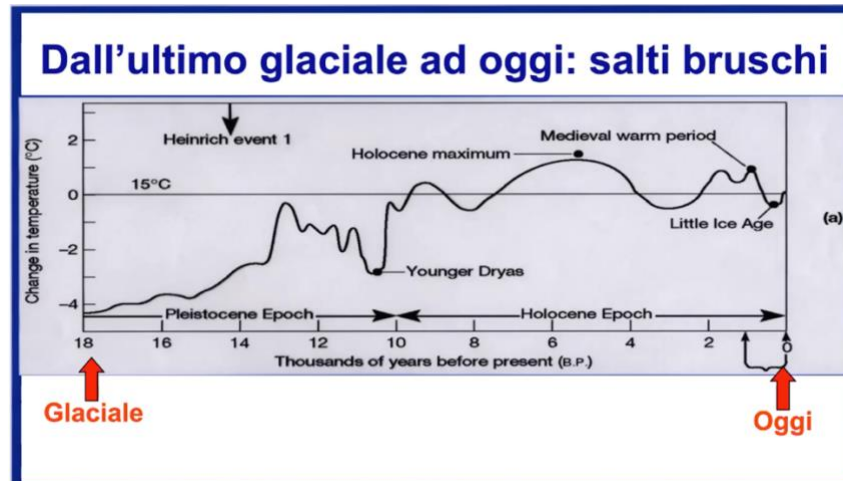
- Il limite per il clima è 350 ppm di CO₂ (siamo a 415);
- Il limite per la biodiversità è 10 estinzioni ogni 10.000 specie in 100 anni (siamo a 24-100 estinzioni);
- Il limite per i cicli biogeochimici è 11 10⁶ T di fosforo e 63 10⁶ T di azoto (ma siamo oltre il doppio del livello di sicurezza);
- Il limite per la deforestazione sarebbe tenere il 75% delle foreste iniziali (siamo già sotto il 62%).

Da molto tempo l'uomo si affida a soluzioni di tipo tecnologico per arginare queste criticità, ma anche queste hanno un costo: lo sfruttamento dei beni comuni oggi è messo sotto pressione dall'entità della popolazione umana sul pianeta.

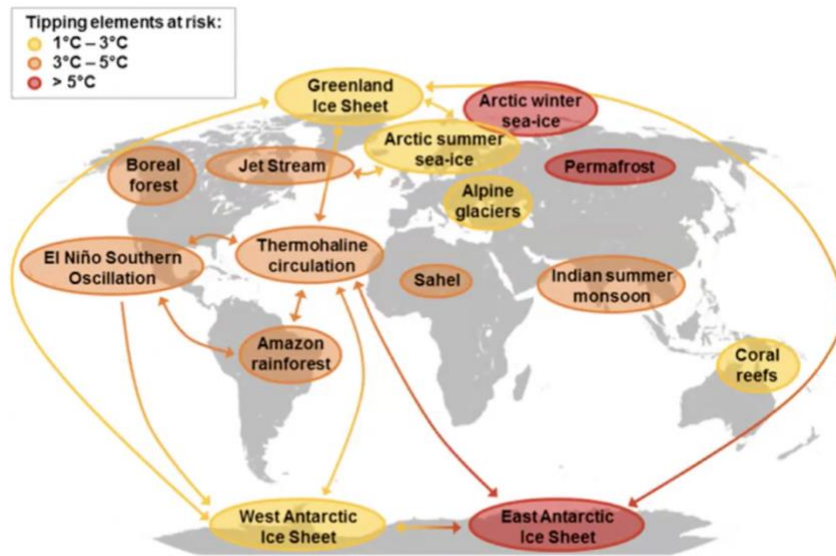
L'evidenza maggiore degli impatti antropici è l'**aumento di temperatura della Terra**.



Dallo studio della storia climatica si evince che, anche in assenza dell'essere umano, la Terra è un sistema climatico di per sé instabile: dall'ultimo glaciale ad oggi si sono verificati salti bruschi tra stati molto caldi a stati molto freddi. L'essere umano, quindi, sta perturbando un sistema molto complicato, di cui non conosce tutti gli stati o i modi per saltare da uno stato all'altro.



La destabilizzazione avviene attraverso i *Tipping elements*, salti irreversibili o punti di rovesciamento: si tratta di eventi causati dal cambiamento climatico che, se si verificano, rendono imprevedibile il futuro svolgimento del cambiamento climatico stesso. Tra questi, la scomparsa del ghiaccio marino estivo, la fusione del permafrost, la fusione della calotta della Groenlandia, l'indebolimento del *Jet Stream*, l'atlantificazione delle acque con il cambio degli ecosistemi.



Shellnhuber et al., 2016 NATURE CLIMATE CHANGE

Ci sono diversi trade-off e importanti **decisioni politiche** che il cambiamento climatico e le politiche adattive pongono. Ad esempio, nel Delta del Mississippi $\frac{1}{4}$ della terra ormai è sotto acqua e non c'è abbastanza sabbia: le contee devono prendere la decisione di dove verrà allocata la poca sabbia rimasta e quali sono le zone che andranno sott'acqua. Questa situazione si ripeterà in prospettiva in diverse località del mondo (Venezia ad esempio). Tali decisioni andrebbero prese con una prospettiva di lungo termine, non quella della legislatura o della legislatura corta, tipica del sistema italiano.

Conoscere e quantificare il cambiamento climatico

Il **Clima** rappresenta l'insieme delle condizioni meteorologiche¹ che caratterizzano una regione geografica e viene definito in termini di proprietà statistiche (ad esempio, valore medio della temperatura estiva in una regione, intervallo tipico in cui varia la temperatura in una stagione). Per **variabilità climatica** si intende la fluttuazione di una specifica grandezza climatica (ad esempio la temperatura media della superficie terrestre) intorno al suo valore medio, ottenuto dalle rilevazioni di lungo termine, almeno trenta anni, del parametro climatico considerato. Più specificatamente, le fluttuazioni sono legate alle variazioni anno per anno (interannuali e stagionali) e alle oscillazioni decennali, che si sovrappongono al valore medio della grandezza.

Il clima è quindi normalmente variabile, ma una cosa è la variabilità climatica, altra è il cambiamento climatico. Il termine **cambiamento climatico** indica variazioni statisticamente significative dello stato medio del clima o della sua variabilità, persistente per un periodo esteso.

La situazione a livello globale tende ad essere omogenea, ma a livello locale le realtà differiscono molto. Le **osservazioni** sono fondamentali per la comprensione e la valutazione del clima e dei suoi cambiamenti. Negli ultimi decenni nuovi sistemi di osservazione, particolarmente quelli basati sulle misure satellitari, ma anche sul sistema radar e su dati in situ, hanno aumentato di un ordine di grandezza il numero di osservazioni sul sistema climatico terrestre.

Attribuire la causa del cambiamento climatico agli esseri umani è stato difficile, sono serviti molti studi che hanno portato al 2013, quando, nel suo 5° Rapporto, l'IPCC ha potuto affermare che "l'influenza umana sul sistema climatico è chiara": l'uomo sta aumentando la **concentrazione di gas climalteranti nell'atmosfera** e il Sistema Terra non è più in grado di farvi fronte. A partire dal 1950 sono stati osservati cambiamenti in tutti i comparti del sistema climatico terrestre (Atmosfera e oceano si sono riscaldati, l'estensione e il volume dei ghiacci si sono ridotti, il livello del mare si è innalzato, l'aumento della CO₂ ha causato l'acidificazione oceanica, la copertura nevosa nell'emisfero nord è diminuita, si sono osservate variazioni sulla distribuzione della precipitazione ecc). Molti di questi cambiamenti non trovano riscontro negli scorsi due millenni.

Ma poiché il clima non cambia ovunque allo stesso modo, spesso non se ne percepisce l'urgenza. Eppure i morti per alluvioni e per ondate di calore sono molti e sono attribuibili al cambiamento climatico in quanto è aumentata sia l'intensità che la frequenza di questi fenomeni.

Occorre quindi conoscere le dinamiche che governano i processi climatici, in altre parole sapere come si passa da una concentrazione di CO₂ alla variazione del clima e ipotizzare come queste concentrazioni cambieranno nel futuro. Questo è quello che fanno i **modelli climatici**: un modello di clima è un insieme di equazioni matematiche che rappresentano le leggi fisiche che descrivono l'evoluzione del sistema climatico. A seconda del grado di inclusività, i modelli climatici possono essere molto semplici fino a molto complessi, potendo includere tutti i componenti del sistema (Atmosfera, Oceano, Terra, Criosfera e Biosfera) e tutte le dinamiche, i processi fisici e le interazioni tra di loro. Tra i modelli più importanti si cita il *Global Climate Model*.

È importante sottolineare che i modelli consentono di fare delle proiezioni, e non delle previsioni. Le **previsioni** sono ad esempio quelle che stabiliscono il clima dei giorni seguenti. La **proiezione climatica**,

¹ Il tempo meteorologico è una successione di fenomeni atmosferici dalla durata molto limitata, dell'ordine di ore o di qualche giorno; ad esempio, il vento, le formazioni delle nubi, le precipitazioni.

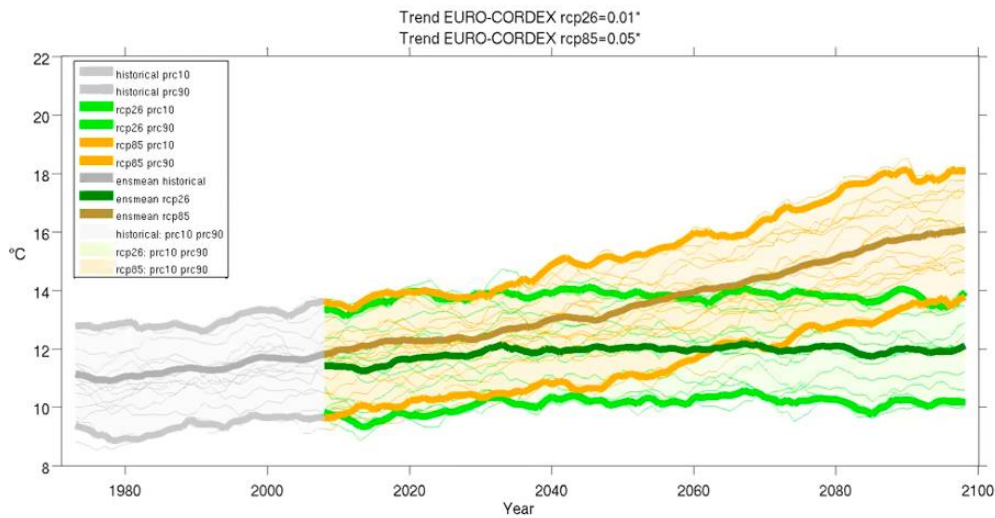
invece, è la risposta simulata del sistema climatico a uno scenario di emissioni future o di concentrazione di gas serra e aerosol, generalmente ricavata utilizzando i modelli climatici. Le proiezioni climatiche sono diverse dalle previsioni per la loro dipendenza dallo scenario di emissione/concentrazione/forzante radiativo utilizzato, a sua volta basato sulle ipotesi riguardanti, per esempio, i futuri sviluppi socio-economici e tecnologici che potrebbero essere realizzati o meno.

Se il clima cambia perché cambia la concentrazione di gas climalteranti in atmosfera, quindi, per capire come evolverà il clima usando modelli climatici è importante sapere quali saranno le concentrazioni future di questi gas in atmosfera. L'IPCC rilascia per questo degli **scenari**, ovvero delle descrizioni plausibili di come potrà evolvere la società in futuro: ognuno di essi rappresenta un possibile sviluppo demografico, socioeconomico, tecnologico e ambientale. Gli scenari descrivono l'evoluzione di diversi fattori strettamente connessi con i cambiamenti climatici nel XXI secolo, tra cui i livelli di emissione di 10 gas serra, l'energia, l'economia, la tecnologia e le risorse in uso, l'utilizzo del suolo e dei combustibili fossili.

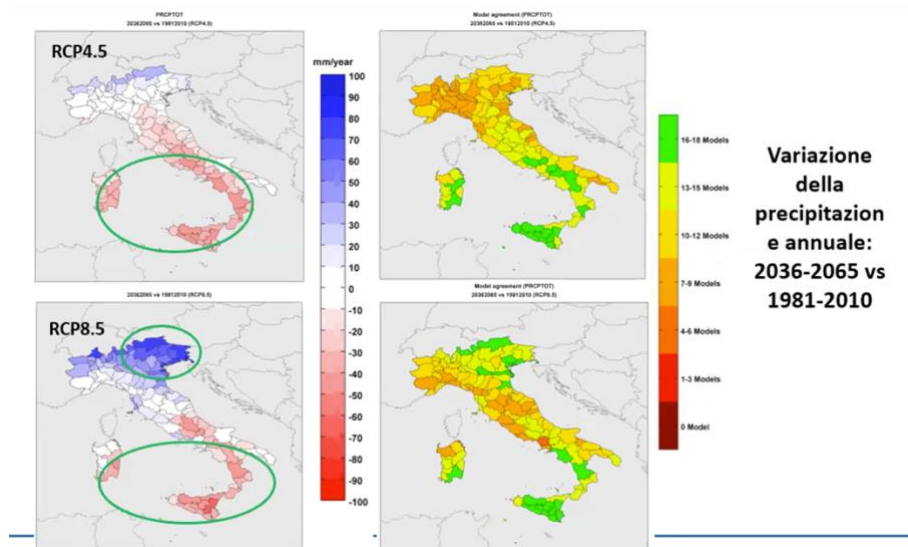
Le *Representative Concentration Pathways* (RCP) dell'IPCC ipotizzano, in alcuni scenari, riduzioni delle emissioni molto elevate (scenari di mitigazione), in altri riduzioni consistenti (scenari di stabilizzazione) e in altri ancora livelli di emissioni alti ("business as usual"). Recentemente, ad integrazione degli RCP sono stati rilasciati dei nuovi scenari denominati *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), cioè "percorsi socioeconomici condivisi", perché intendono raccontare che il futuro non è solo una questione fisica e scientifica, ma dipende dalle scelte della società, dal modello di sviluppo che questa sceglierà. Sono cinque le "narrazioni" che descrivono i futuri socioeconomici alternativi: sviluppo sostenibile; scenario a sviluppo intermedio; rivalità regionale; sviluppo con forti disuguaglianze; sviluppo con tanti combustibili fossili.

Ma se i modelli globali garantiscono la coerenza fisica tra le variabili, esistono importanti differenze tra il mondo reale e la sua rappresentazione del modello a causa della bassa risoluzione spaziale richiesta per simulare il clima e il cambiamento climatico su tutta la Terra. Effetti su piccola scala importanti per il clima locale potrebbero essere scarsamente rappresentati, e quindi i *Global Climate Model* non sono adeguati per sostenere studi di impatto e strategie di adattamento. Esistono per questo **modelli su scala regionale** che sono in grado di simulare il clima di una parte limitata della Terra.

Ad esempio, osservando la **variazione della temperatura media giornaliera in Italia al 2100** si rileva una crescita sempre positiva del valore medio di diversi modelli, che indica un aumento della temperatura media di 3°C nella "migliore" delle ipotesi, e di 7°C nella "peggiore" delle ipotesi.



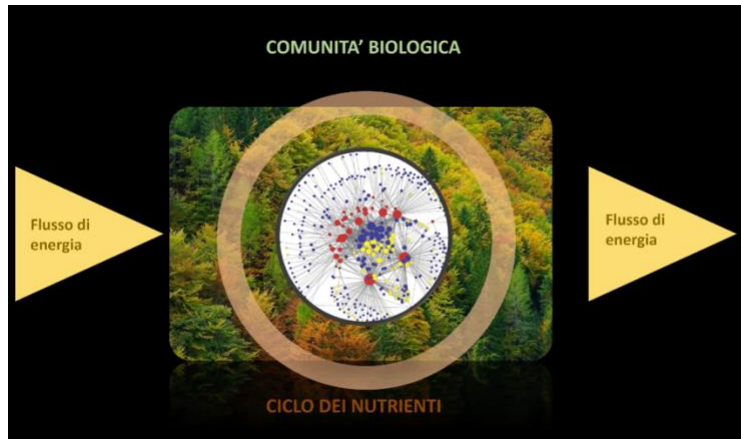
Se si osserva poi **l'Italia su scala geografica**, la variazione prevista è abbastanza uniforme, anche se la zona alpina è particolarmente sensibile. Per la pioggia la situazione è più complessa e servono dei modelli più risolti perché l'Italia è in un certo senso divisa in due: nella parte nord si ha un aumento delle precipitazioni su scala annuale, al sud dell'Italia, invece, una diminuzione. Se si guardasse l'Italia come un unicum, si potrebbero perdere queste informazioni. Pertanto, quando si realizzano delle politiche locali di adattamento è necessario osservare la propria zona perché il clima che ci si aspetta nel futuro differisce a seconda della località.



Infine, gli scenari non sono sempre gli stessi ma cambiano orientativamente ogni 10 anni sulla base dell'evoluzione delle conoscenze. Resta complesso capire il cambiamento climatico nelle aree urbane perché qui occorre tenere conto delle infrastrutture presenti. Si stanno quindi sviluppando modelli e strumenti che siano in grado di comprendere le caratteristiche del territorio locale.

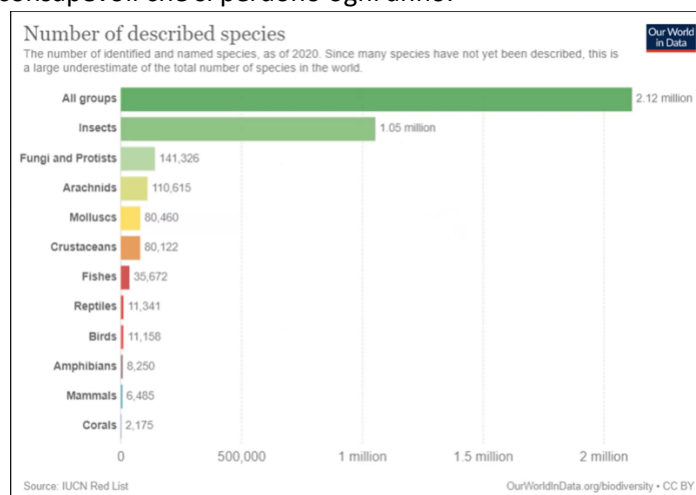
Proteggere la biodiversità per proteggere il pianeta

La **biodiversità** è alla base della vita sulla terra. L'essere umano tende ad associare la biodiversità a degli organismi e delle specie, ma **la biodiversità rappresenta la varietà e la variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui questi vivono**. Pertanto, biodiversità non è solo presenza, assenza e numero di specie e di organismi, ma è, per esempio, a livello micro, la variabilità genetica in una stessa specie, che permette agli organismi di adattarsi e di essere resilienti; a livello macro, è la diversità che caratterizza il Pianeta, ovvero una diversità di biomi, ecosistemi e habitat che sono tutti interconnessi in maniera funzionale e necessaria e quindi risentono l'uno dell'altro.



Tutti **gli ecosistemi** sono strutture complesse caratterizzate da un flusso di energia. Esiste inoltre una comunità biologica che caratterizza ogni singolo sistema, composta da specie diverse che interagiscono tra loro e con l'ambiente in maniera complessa, permettendo così all'ecosistema di essere in equilibrio sia con le componenti abiotiche interne sia con il sistema geosfera in maniera più ampia.

Diversi studi riportano che il numero delle specie viventi sul pianeta possa variare da 4 a 100 milioni. Tuttavia, solo una parte di esse è attualmente conosciuta. Quando si parla di perdita della biodiversità e di numero di specie in via di estinzione, quindi, si fa riferimento al numero di specie di cui siamo consapevoli. Molte sono quelle di cui non siamo consapevoli che si perdono ogni anno.



La biodiversità è un valore che tocca tutti i servizi ecosistemici planetari che la natura offre. Alcuni di essi sono immediati (cibo, materie prime, medicine), ma la biodiversità entra in maniera pervasiva anche in tutti

gli altri sistemi di supporto e regolazione fondamentali sulla Terra, nonché nei valori estetici e culturali dove il paesaggio e la natura costituiscono un elemento indispensabile.



Un esempio è la **relazione tra la biodiversità e il sequestro di carbonio**. Gli ecosistemi possono contribuire ad abbassare la concentrazione di CO₂ in atmosfera grazie a un motore primario della vita sulla Terra, la fotosintesi: il processo che permette la vita sulla Terra e che, sfruttando l'energia del Sole, fornisce l'energia necessaria alla pianta per trasformare l'anidride carbonica in zuccheri, di cui la metà circa diventa biomassa della pianta che nutre la catena trofica e nutre anche gli uomini. La velocità della fotosintesi dipende dai livelli di "radiazione luminosa", la quale diminuisce rapidamente lungo il profilo verticale della foresta. Le piante che tipicamente crescono nelle parti più basse della foresta si sono adattate per portare avanti il processo di fotosintesi con meno luce, ampliando il *range* di intensità luminosa sfruttabile dalla foresta e quindi la sua produttività primaria e il suo ruolo come *carbon sink*. Per questo, una foresta monospecifica (come una ripiantata dopo una deforestazione) non è in grado di sequestrare, per unità di superficie, la stessa quantità di carbonio di una foresta naturale, che ha una struttura complessa dove specie diverse, a diverse irradianze, possono contribuire insieme allo sfruttamento della luce.

Altro elemento fondamentale per la vita degli ecosistemi è la **biodiversità del suolo**. Questa è altissima: in un grammo di suolo è possibile trovare diverse migliaia di specie differenti e miliardi di cellule batteriche. Ogni organismo ha la sua funzione: alcuni sono fondamentali per diverse funzioni relative alla creazione della sostanza organica del suolo ma anche all'interazione pianta-suolo, che è quello che permette alle piante di diventare resilienti e resistenti negli ambienti naturali. A questo contribuiscono gli organismi un po' più grandi (artropodi). Ci sono poi gli "ingegneri del suolo" che contribuiscono a strutturare anche essi il suolo, come i lombrichi, che creano spazio per smuovere il suolo e far passare le radici delle piante. La biodiversità garantisce suoli sani e contribuisce a purificare inquinanti che dal suolo arriverebbero nelle acque: la materia muore, arriva a terra, gli organismi più grandi iniziano a contribuire alla decomposizione e alla frammentazione di questa materia. I protagonisti del processo sono i **funghi e i batteri**, i quali arrivano nelle fasi finali della decomposizione e trasformano questa materia organica in humus composto da tanti micro-aggregati. Questo conferisce una tridimensionalità alla sostanza organica (cd. zolla porosa), fondamentale per la vita delle piante perché micro-aggregati formano micro e macro-pori che trattengono l'acqua e l'aria.

Il bilancio di porosità è quindi fondamentale per il suolo. L'aggregazione, inoltre, protegge la sostanza organica dal decomporsi velocemente. Il suolo è infatti il più grande deposito di materia organica sulla terra, immagazzinando una quantità di carbonio pari a quella della vegetazione e dell'atmosfera messe insieme.

I **batteri** nel suolo non solo creano la sostanza organica, e quindi un suolo strutturalmente idoneo alla vita delle piante, ma interagiscono con le piante aiutandole ad essere più resistenti agli stress antropici, rendendole più resistenti all'erbivoria, aiutandole a sopprimere le malattie e ad acquisire più facilmente i nutrienti sparsi nel suolo. In cambio, i batteri ricevono dalle piante il glucosio e gli aminoacidi che queste rilasciano. Ma i batteri non sono gli unici protagonisti: per raggiungere i nutrienti sparsi nel suolo, la pianta si serve dei **funghi**, che riescono ad arrivare dove la pianta con le sue radici non arriva, permettendole di assorbire molta più acqua e minerali di quanti non riuscirebbe a raggiungere da sola. Ecco che **se si introduce la coltivazione, le macchine, la compattazione, l'utilizzo di fertilizzanti di sintesi e pesticidi, si danneggia la biomassa**, e quindi il nutrimento che supporta la biodiversità. Nel tempo, i funghi spariscono e le comunità batteriche diventano molto più povere. Si crea di conseguenza un *loop negativo* per cui il bioma ridotto rende la pianta disfunzionale e questa, a sua volta, riduce la produttività. Per rispondere al problema l'agricoltore tenderà ad aumentare l'irrigazione e l'immissione di fertilizzanti e pesticidi, ma proprio questi elementi aumentano l'impatto negativo sul bioma e generano impatti ambientali in termini di emissioni di gas serra, rilascio di sostanze eco-tossicologicamente attive ecc.

Per la **ricostruzione del bioma danneggiato** occorre valutare la tipologia, perché la possibilità di ricostruzione dipende dal bioma, dal grado di integrazione e dalle condizioni in cui ci si trova. Il trend è verso una diminuzione di biodiversità su scala planetaria: circa il 25% delle specie stimate sono a fortissimo rischio e questo riguarda solo quelle note. È importante ricordare che quando parliamo di specie, facciamo riferimento anche all'equilibrio della loro presenza nel posto in cui si trovano: pensare di spostarle potrebbe aumentare la loro quantità e diversità in un dato luogo, ma le specie spostate diventano specie aliene che possono influenzare negativamente gli ecosistemi in cui arrivano.

Le **principali cause del declino della biodiversità** sono il cambio di uso degli ecosistemi, passando da naturali a antropizzati, dallo sfruttamento diretto di risorse, dal cambiamento climatico, dall'inquinamento, dalle specie invasive aliene e altri fattori variabili. Questi fattori non sono uguali ovunque perché a seconda di dove ci si trova si ha un contributo diverso. Una strategia globale per contrastare il declino della biodiversità va quindi calata nella specificità di ogni continente o Paese.

Ad oggi, il 77% della Terra (esclusa l'Antartide) e l'87% delle aree oceaniche sono state modificate dall'attività umana. Questi cambiamenti sono associati alla perdita dell'83% della biomassa dei mammiferi selvatici e della metà di quella delle piante. Il bestiame e gli esseri umani rappresentano ora quasi il 96% di tutta la biomassa dei mammiferi sulla Terra e più specie sono minacciate di estinzione che mai nella storia umana. A seconda di quello che sarà lo scenario futuro, l'impatto sulla biodiversità sarà diverso: più gli scenari sono caldi, più si avrà un effetto ampio e precoce sulla perdita di biodiversità. Lo scenario dei 2°C di surriscaldamento, già difficile da raggiungere, compromette molti ecosistemi. Nel report dell'IPCC e IPBES si afferma infatti che biodiversità e cambiamenti climatici non devono essere trattati separatamente.

Oggi si parla molto di **diete sostenibili** e di sostituire la carne con proteine vegetali o leguminose (incluso la frutta a guscio), in quanto l'impatto medio per il clima della produzione di un vegetale è più basso rispetto a quella della produzione animale. Ma bisogna **prestare attenzione alla modalità di produzione del cibo**, che deve essere uno dei parametri da soddisfare per definire una dieta "sostenibile".

Si pensi ad esempio alla produzione di mandorle in California (che fornisce l'80% del mercato mondiale). Qui i campi sono molto estesi e non circondati da ambienti naturali. Ora, gli **impollinatori** sono fondamentali per permettere la sopravvivenza della vita (più di 300.000 specie di piante e oltre tre quarti delle principali colture dipendono dall'impollinazione). Questi hanno però bisogno di nicchie in cui vivere, e quindi sono fondamentali paesaggi a mosaico, caratterizzati dalla biodiversità di habitat naturali e semi-naturali (es/praterie, boschi, campi abbandonati, aree di bordo e siepi) forniscono risorse e rifugio per tutto l'anno per gli organismi impollinatori. Per impollinare gli alberi, l'industria di mandorle della California si basa quindi completamente su colonie di api allevate (circa 1.4 milioni di colonie per la maggior parte derivanti da altri stati): l'impollinatore viene portato dove non arriva. E spesso l'esposizione ai pesticidi causa la morte di molte di queste api.

Ecco quindi che la sostenibilità della produzione non è banale, e occorre anche prestare attenzione a non demonizzare certi tipi di alimenti. Al momento, per esempio, non è necessario che tutta la popolazione mondiale diventi vegana o vegetariana: sarebbe sufficiente riequilibrare nella maniera giusta quello che già si fa.

Bibliografia

- BEISER V. (2018), *The world in a grain*, Riverhead Books, New York
- CARSON R. (2016), *Primavera silenziosa*, Feltrinelli, Milano
- FOLKE, C., POLASKY, S., ROCKSTRÖM, J. *et al.* Our future in the Anthropocene biosphere. *Ambio* **50**, 834–869 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8>
- FORRESTER J., MEADOWS D., RANDERS A., ANDERSON A., ANDERSON J., BEHRENS III W., NAILL R. (1972), *I limiti dello sviluppo*, prefazione a cura di Aurelio Peccei, Mondadori, Milano
- GHOSH A. (2017), *La grande cecità: Il cambiamento climatico e l'impensabile*, Neri Pozza, Vicenza
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneeth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Insarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P. A., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A. P. F., Popp, A., Reyes- García, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y. J., Sintayehu, D. W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parmesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Díaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N., Ngo, H.T. 2021. *IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change*; IPBES and IPCC. DOI:10.5281/zenodo.4782538.
- Gaffney O. e Steffen W., 2017, *The Anthropocene equation, The Anthropocene Review*, DOI: 10.1177/2053019616688022 .
- LEWIS S.L., MASLIN M.A. (2018), *Il pianeta umano*, Einaudi, Torino
- MAGALHAES P. et al., 2016, *SOS Treaty. The Safe and Operating Space Treaty, a New Approach to Managing Our Use of the Earth System*, Cambridge Scholars Publishing
- PITRON Guillaume (2020) *The Rare Metals War: The Dark Side of Clean Energy and Digital Technologies*, Scribe Publications
- Raworth, K., 2012. *A safe and just space for humanity: Can we live within the doughnut? Oxfam Discussion Paper.*, Oxford, UK: Oxfam.
- Rockström, J. et al., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263)
- Steffen W. et al., 2015, *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration, Anthropocene Review*, DOI: 10.1177/2053019614564785
- WADHAMS P. (2018) *Addio ai ghiacci*, Bollati Boringhieri
- WEST G. (2017), *Scale*, Penguin PR, Derby

Sitografia

- <https://www.cmcc.it/it/analisi-del-rischio-i-cambiamenti-climatici-in-italia>