

“Molte cose sono aumentate in modo relativamente monotono negli ultimi due secoli: non solo la CO2 ma anche la popolazione mondiale, la produzione agricola globale, l'attività solare, la biomassa vegetale globale, il numero globale di bovini e di animali domestici, la percentuale della popolazione alfabetizzata ed il livello di dettaglio delle carte geografiche.”

Anonimo del 21° secolo

“In quell’Impero l’arte divinatoria raggiunse una tale perfezione che i collegi degli auguri giunsero a partorire un macchinario di dimensioni ciclopiche e in grado di produrre previsioni meteorologiche per i successivi cent’anni. Dedite allo studio della divinazione, le generazioni successive compresero che quell’opera era del tutto inutile e non senza empietà l’abbandonarono all’inclemenza del sole e degli inverni. Nei deserti dell’ovest rimangono lacere rovine di quell’antico macchinario, abitate da lemuri e mendichi; in tutto il Paese non vi è altra traccia delle discipline divinatorie.”

Suarez Miranda, Viaggi di uomini prudenti, libro quarto, cap. XLVI, Lérida, 1658

PIANTE E CLIMA GLOBALE

Di Luigi Mariani

Premessa

In genere si è abituati a pensare alle piante come vittime dei capricci del tempo atmosferico e della variabilità del clima. A questa visione ci portano sia la nostra immagine delle piante viste come esseri indifesi perché non in grado di muoversi e dunque di sfuggire alle intemperie sia le notizie che fluiscono sui nostri mezzi di comunicazione e che sono ricchissime di veri o presunti effetti catastrofici del maltempo sulle produzioni agrarie.

Quel che sfugge ai più è che le piante sono soggetti attivi del clima su cui agiscono con mano potente per modificarlo a proprio favore. Certo, direte voi, chi non conosce l'effetto mitigante sull'afa estiva esercitato da un'area a verde ben irrigata, effetto che è ovviamente di microscala. Tuttavia qui non si parlerà di micro ma di macroscala perchè lo scopo del post (organizzato in quattro parti) è quello di valutare fin dove possibile il ruolo della vegetazione terrestre nel determinare il clima globale e gli effetti che possono derivare dal sensibile aumento della biomassa vegetale terrestre attualmente in atto.

Verso una tale valutazione si spinse già nel 1966 un pionieristico lavoro di Priestley (1966) nel quale si sosteneva che un mondo interamente coperto di vegetazione ben irrigata non avrebbe potuto eccedere i 33/34°C di temperatura massima mentre un mondo interamente coperto da oceani non avrebbe potuto eccedere i 30°C.

Parte I - UN TICKET PER DAISYWORLD

La colonizzazione di ambienti terrestri da parte delle piante vascolari ebbe inizio durante il periodo Cambriano, circa 500 milioni di anni fa e nella sua fase iniziale ebbe luogo con livelli di CO₂ pari a 20-30 volte quelli attuali. Le prime piante vascolari, simili agli attuali muschi che sono caratteristiche specie pioniere, non disponevano di stomi per cui la loro resistenza alla carenza idrica era assai scarsa. Tali vegetali primordiali furono le avanguardie di associazioni di piante che modificarono l'ambiente allo scopo di affermare la loro presenza in un numero crescente di habitat, fino ad ottenere la copertura di gran parte del pianeta nelle fasi caldo-umide (fasi greenhouse).

Per interpretare una tale espansione è essenziale prendere in considerazione la legge del minimo di Liebig (http://en.wikipedia.org/wiki/Liebig%27s_law_of_the_minimum) secondo la quale la crescita di un organismo non è controllata dalla quantità totale delle risorse disponibili, ma la risorsa più scarsa (fattore limitante). Su tale base è possibile pensare che la marcia delle piante negli ambienti terrestri sia stata localmente limitata dalla disponibilità di elementi chimici (in primo luogo azoto e fosforo). E' tuttavia probabile che l'unico vincolo globale reale contro l'espansione della vegetazione sia stato rappresentato dalle basse temperature proprie dei periodi glaciali, dalla remota glaciazione Carbonifera (380 milioni di anni fa) alle 15 glaciazioni del Pleistocene (ultimi 2,5 milioni di anni).

Al fine di interpretare l'espansione della vegetazione terrestre un elemento chiave è rappresentato dalla capacità dei vegetali di regolare l'ambiente esterno onde mantenere su livelli compatibili con la vita dei vegetali stessi una serie di fattori come la temperatura e il pH. Tale capacità (per la quale si può parlare di omeostasi estesa all'ambiente esterno ai vegetali - <http://en.wikipedia.org/wiki/omeostasi>) è fondamentale perché la vegetazione naturale e coltivata possa raggiungere il suo scopo finale che è la riproduzione. Chiaramente omeostatici sono per esempio la capacità delle chiome dei vegetali di schermare il suolo mantenendo da un lato stabili i valori di temperatura del terreno (evitando gli eccessi, negativi per le radici e le attività microbiche) e dall'altro esercitando un effetto stabilizzante sullo strato atmosferico interno alla chioma stessa, limitando così le perdite evapotranspirative e favorendo l'assorbimento da parte degli stomi della CO₂ che viene incessantemente liberata dalle attività microbiche del suolo e che in assenza di un tale effetto verrebbe in gran parte dispersa nell'atmosfera al di sopra delle chiome.

L'obiettivo che le piante si pongono con tali adattamenti è chiaramente un obiettivo di microscala e che si gioca tutto all'interno del canopy layer e del boundary layer. Tuttavia le strettissime connessioni fra le diverse scale fanno sì che i risultati di ciò possano apprezzarsi anche a macroscale, il che può essere messo in luce tramite gli esempi seguenti:

1. L'esempio del tutto ipotetico ma tutt'altro che banale costituito dal modello daisyworld, parte della più complessiva ipotesi Gaia. Secondo tale modello un pianeta potrebbe arrivare a governare il proprio albedo modificando la percentuale di margherite bianche e nere (http://en.wikipedia.org/wiki/Gaia_hypothesis).

2. L'esempio assai più realistico secondo cui l'attività temporalesca (convezione profonda) sulle terre emerse viene innescata dall'energia presente nel boundary layer, energia che è in massima parte in forma di vapore e che deriva soprattutto dall'attività traspirativa dei vegetali. La convezione profonda è un canale preferenziale per il trasferimento di energia dal boundary layer alla libera atmosfera (Riehl e Malkus, 1958) e genera un importante segnale globale: un cumulonembo è alto 10-15 km e si estende dal suolo fino al confine della troposfera per cui "parla" con tutto il globo ricaricando ad esempio di energia lo strato emittente.

Parte II - ALBEDO, SCABREZZA E CICLO DELL'ACQUA: COSI' LE PIANTE MODIFICANO IL CLIMA GLOBALE

Da tempo mi porto in borsa un'analisi di scenario svolta con GCM che leggo a tempo perso perché confesso che non cessa mai di affascinarmi. Si tratta di una serie di simulazioni svolte da un gruppo di ricerca dell'università di Amburgo i cui risultati sono stati pubblicati nel 2005 con il suggestivo titolo "Green planet and desert world".

Ovviamente si tratta di scenari e gli autori stessi, con un atteggiamento culturale che oggi è merce rara scrivono a chiare lettere quanto segue:

"Here a note of caution is in order. The analysis of extreme boundary conditions like green planet versus desert world clearly exhibits potential model inadequacies. Thus, model intercomparison for such cases may improve the insight into possible model deficiencies notwithstanding a better view on the underlying physical processes and feedbacks at work".

Il modello di Fraedrich è stato fatto girare in due condizioni estreme:

- desert world: tutte le terre emerse sono private della vegetazione
- green world: terre emerse libere da ghiacci sono coperte da vegetazione arborea.

Il risultato della simulazione è che se afforestassimo tutte le aree desertiche e steppiche del pianeta si manifesterebbero i seguenti fenomeni, fra loro solo in parte coerenti:

- E1. Si riattiverebbe il ciclo dell'acqua (figura 1) e come conseguenza di ciò da un lato si riattiverebbero gli scambi di energia fra equatore e poli (l'acqua è il vettore energetico principale per gli scambi latitudinali sul nostro pianeta) e dall'altro aumenterebbe il trasporto di vapore acqueo verso lo strato emittente (posto a circa 5,5 km di quota) e pertanto si accentuerebbe l'effetto serra.
- E2. Si ridurrebbe l'albedo (l'albedo delle vegetazioni è inferiore a quello del deserto) per cui più energia solare sarebbe trattenuta dal pianeta anziché essere dispersa verso lo spazio.
- E3. Sotto la spinta della radiazione netta in ingresso (Oke, 1978) i vegetali emettono molto calore latente LE (effetto del processo di traspirazione) e poco calore sensibile H. Sia i flussi di H che quelli di LE sono flussi turbolenti ma un'essenziale differenza fra i due è che H viene percepito dai nostri sensi o misurato con i termometri (per questo si chiama "calore sensibile") mentre LE non viene percepito dai sensi o misurato con i termometri (e per questo si chiama "calore sensibile"). In soldoni dunque se LE cresce ai danni di H si assiste ad una mitigazione della temperatura.

Come conseguenza di tali tre processi le simulazioni svolte con PUMA ci portano ad avere:

- un pianeta sensibilmente più caldo alle latitudini medio-alte (dove dominano gli effetti E1 ed E2) ed un po' più freddo nella fascia tropicale ove domina l'effetto E3 (figura 2);
- un pianeta più vivo (più biomassa vegetale dovrebbe significare anche più biodiversità);

- un pianeta più bello (anche se ovviamente qui è tutta questione di gusti: alcuni lo chiamerebbero “paradiso” altri “inferno verde”).

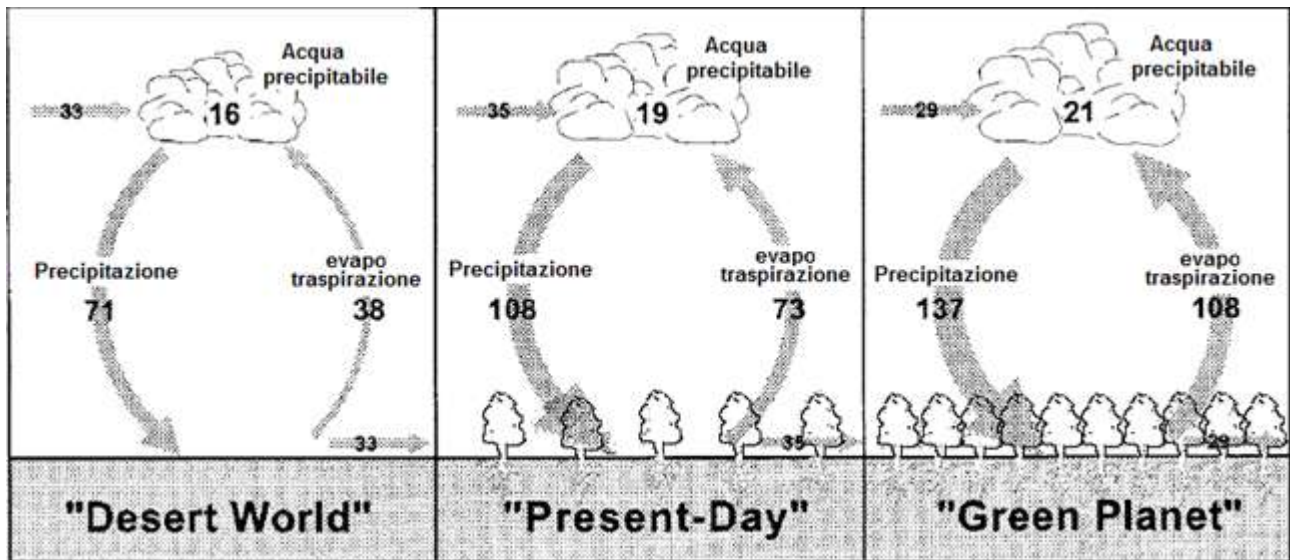


Figura 1 – cambiamento del ciclo idrologico indotto da una copertura forestale estesa a tutte le terre libere da ghiacci secondo lo scenario “green planet” del modello PUMA (Kleidon 2002). Precipitazione ed evapotraspirazione sono valori globali annui (miliardi di metri cubi) mentre l’acqua precipitabile è espressa in millimetri (Fraedrich et al, 2005).

A: Near Surface Temperature with Ocean (JJA)

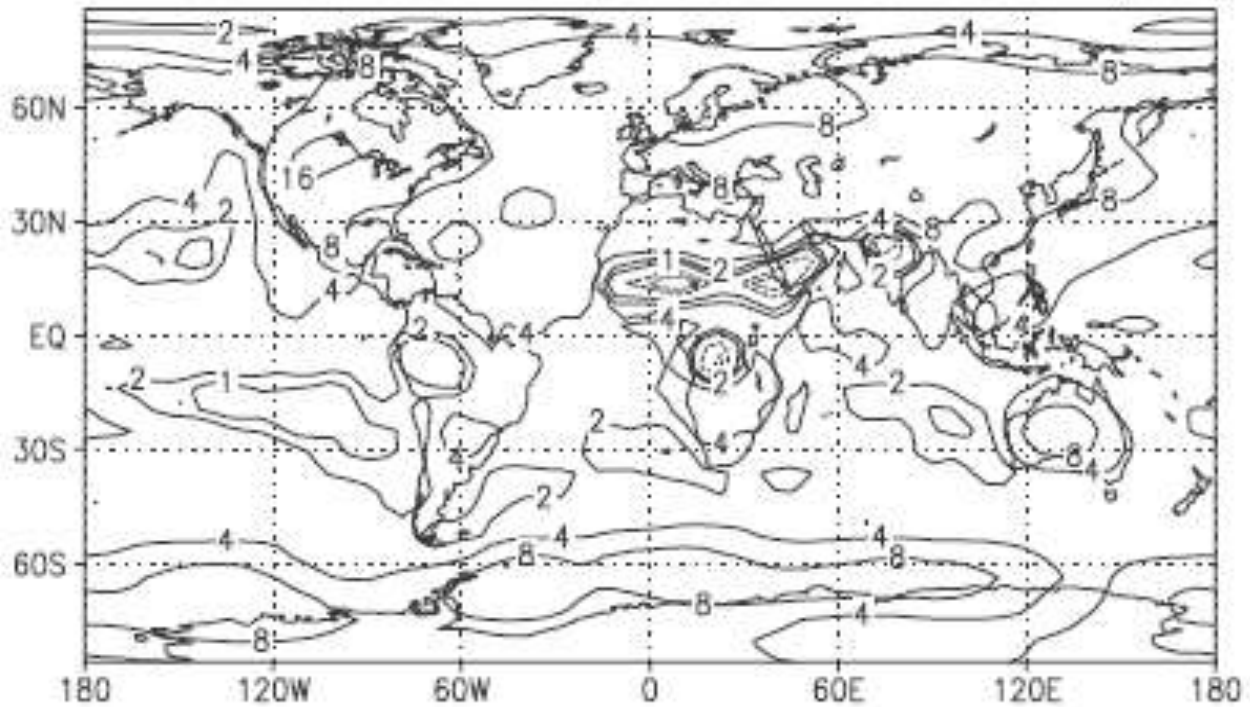


Figura 2a - Temperature medie estive (giugno, luglio, agosto) simulate con PUMA. Si notino le diminuzioni (linee tratteggiate) nella fascia intertropicale e gli aumenti sensibili alle latitudini medio-alte. In sostanza, secondo il GCM, alle latitudini medio-alte l'aumento globale della vegetazione avrebbe lo stesso effetto che di norma i modelli GCM attribuiscono all'incremento di CO₂ (unica differenza è rappresentata dl raffreddamento simulato nella fascia intertropicale) (Fraedrich et al, 2005).

B: Near Surface Temperature with Ocean (DJF)

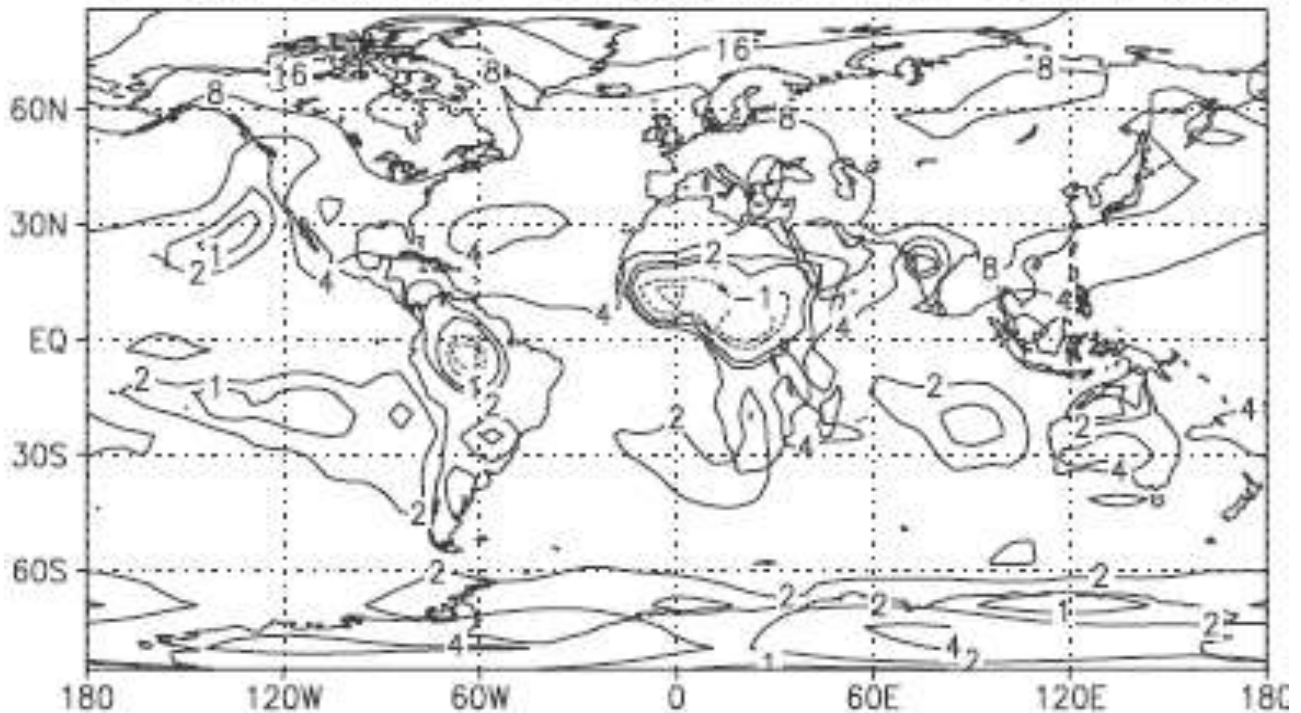


Figura 2b - Lo stesso di figura 2a ma riferito alle temperature medie invernali (dicembre-gennaio-febbraio). Anche qui si notano le diminuzioni (linee tratteggiate) nella fascia intertropicale e gli aumenti sensibili alle latitudini medio-alte (Fraedrich et al, 2005)..

Da notare è infine che le simulazioni di Fraedrich et al giungono alla conclusioni sopra riportate poiché considerano tre effetti chiave della vegetazione sul clima: effetto sull'albedo superficiale, effetto sulla scabrezza delle superfici ed effetto sul ciclo dell'acqua. La "grana grossa" del modello PUMA non consente invece di considerare gli effetti di mesoscala sulla copertura nuvolosa e le precipitazioni che sono rilevanti a livello globale in quanto il vapore acqueo prodotto dalla evapotraspirazione (in gran parte ascrivibile ai vegetali) è la componente principale della precipitazione continentale. Tali effetti sono stati invece analizzati da Pielke e Avisar (1990), Pielke (2001) e Pielke et al (2007).

Parte III - CO2 E PRODUTTIVITA' GLOBALE DEI VEGETALI

Per i nostri scopi è interessante anzitutto evidenziare gli strettissimi legami esistenti fra livelli atmosferici di anidride carbonica e produttività globale dei vegetali. In tal senso sono qui di seguito riportate alcune interessanti evidenze.

Anzitutto i proxy data presenti in carote glaciali antartiche pubblicati da *Prentice et al* (2011) indicano che la produttività dell'ecosistema globale nell'ultimo massimo glaciale (Last Glacial Maximum - LGM) era inferiore del 25/40% rispetto a quella dell'Olocene Pre-industriale (Pre Industrial Holocene PIH) ed inoltre un valore coerente con tali misure (-30%) è risultato da simulazioni svolte con modelli matematici. Tale fenomeno è probabilmente frutto dei soli ecosistemi terrestri, poiché quelli marini evidenziano solo variazioni marginali nella transizione da LGM per PIH.

A ciò si aggiunga che le antiche produzioni di cereali simulate da *Araus et al.* (2003) mostrano che il passaggio di CO₂ dai livelli pre-industriali (275 ppmv) a quelli degli anni 80 (350 ppmv) ha dato luogo ad un aumento del 40% della produzione di cereali (e con loro, immagino, della produzione di molte altre colture e di molti ecosistemi naturali).

A riprova dell'effetto di CO₂ sulla produttività dei vegetali stanno sia il fatto che nelle serre viene praticata da decenni la concimazione carbonica con lo scopo di incrementare le rese delle colture (*Incrocci et al.*, 2008) sia il fatto che negli anni più recenti il remote sensing da satellite ha evidenziato un sensibile aumento della biomassa vegetale globale con un incremento del 6% della produttività primaria netta globale dei vegetali sul periodo 1982-1999 (*Simmons*, 2012).

Per completezza d'informazione (e a riprova della complessità del sistema di cui discutiamo) occorre dire che gli aumenti di produttività della vegetazione di cui ai punti precedenti sono stati di recente posti in discussione da autori che ipotizzano limitazioni legate alla legge del minimo di Liebig e causate dall'insufficiente disponibilità di nutrienti come l'azoto e il fosforo (*Korner*, 2006). Tali effetti potranno anche sussistere ed essere localmente rilevanti e tuttavia le evidenze osservative globali sopra citate mi paiono davvero troppo forti per poter essere contestate.

Parte IV) IL RAPPORTO CO2 – PIANTE – CLIMA: VERSO UN'IPOTESI COMPLESSIVA

Schema degli effetti globali dell'aumento di vegetazione

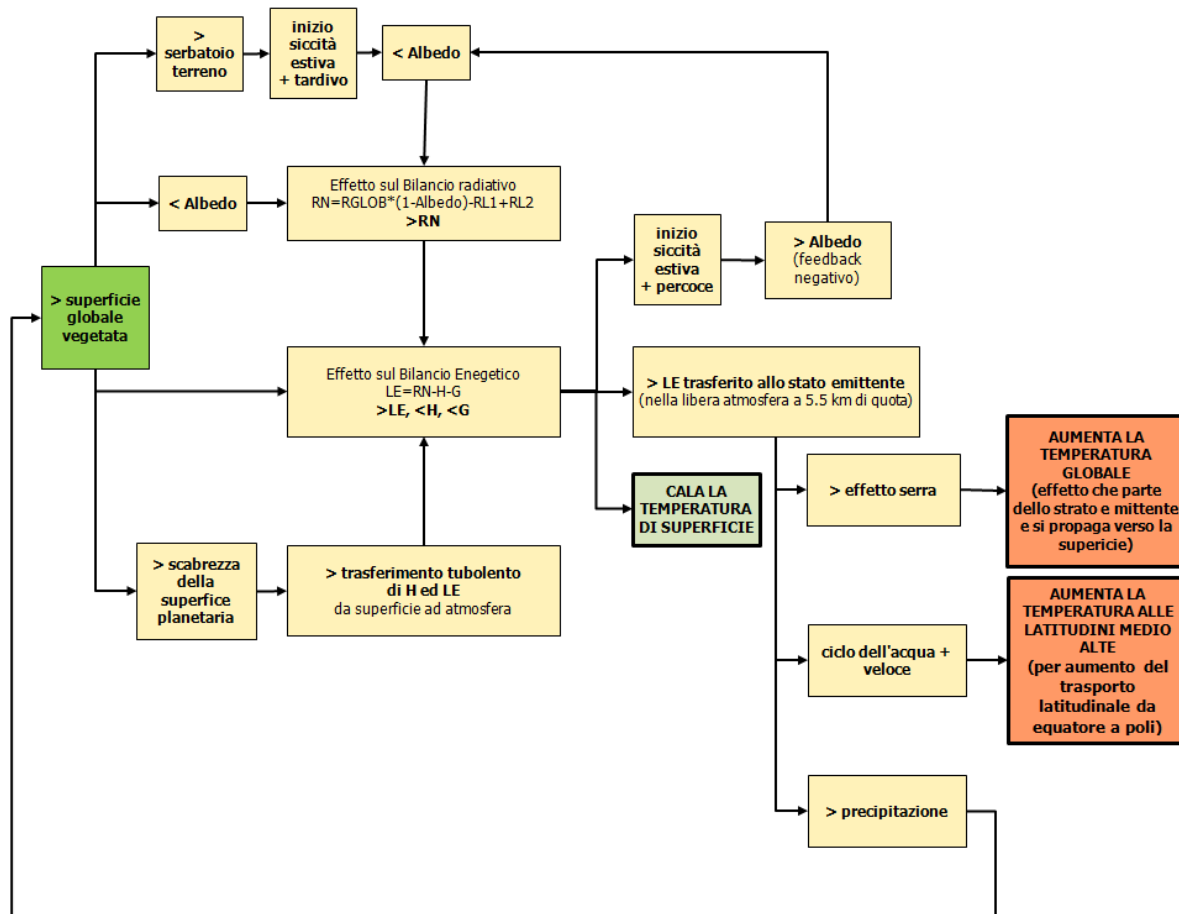


Figura 1 - Diagramma di flusso che illustra gli effetti dell'aumento della vegetazione sul clima globale. Il diagramma è ovviamente non esaustivo. Abbreviazioni utilizzate: H : flusso di calore sensibile, LE : flusso calore latente, G : flusso di calore nel suolo, RN : radiazione entta frutto del bilancio radiativo di superficie, R_{glob} : radiazione solare globale, $RL1$ e $RL2$: termini a onda lunga (emissione terrestre e radiazione del cielo) del bilancio radiativo di superficie.

Un modello

La flowchart in figura 1 riassume i diversi effetti che derivano dall'aumento della CO2 e dal conseguente incremento globale della biomassa vegetale globale. Come si noterà i primi effetti a valle di tale incremento sono:

1. L'**albedo planetario diminuisce** aumenta poiché le piante hanno mediamente un albedo inferiore a quello del suolo nudo. Ciò determina una variazione del bilancio radiativo di

superficie con aumento della radiazione netta al suolo (RN) che è il flusso chiave che spinge gli altri flussi del bilancio energetico di superficie e cioè il flusso evapotraspirativo (calore latente LE), il flusso di calore sensibile H ed il flusso di calore nel suolo G (Oke, 1978; Stull, 1997)

2. La maggiore presenza di vegetali **modifica il bilancio energetico di cui al punto precedente aumentando LE e diminuendo H.**
3. la **maggior scabrezza delle superfici vegetate** rispetto a quelle nude coopera a dare una maggior cessione di LE dalla superficie del pianeta all'atmosfera. Come risultato dell'aumento di LE la temperatura globale di superficie diminuisce.
4. Come effetto di quanto ai punti precedenti aumenta il flusso di vapore LE verso lo strato emittente con conseguente aumento dell'effetto serra, per cui la temperatura globale dello strato emittente aumenta con un effetto che si propaga anche alla superficie (per ogni °C di aumento a 5500 m di quota si ha mediamente un aumento di 0.5°C al suolo, che si giustifica con la necessità di conservare il gradiente pseudo-adiabatico). Pertanto la temperatura globale di superficie aumenta.
5. Fra gli altri effetti primari dell'aumento del flusso di LE verso la libera atmosfera (flusso che dovrà essere necessariamente associato ai processi di convezione profonda) si citano l'intensificazione del ciclo dell'acqua e l'aumento delle precipitazioni
6. L'intensificato ciclo dell'acqua stimola anche un più precoce svuotamento estivo della riserva idrica del terreno. Ciò dovrebbe ridurre l'albedo (l'albedo di praterie con erba secca è assai più basso di quello di praterie con erba verde) e questo dovrebbe a sua volta dar luogo ad un feedback negativo sul'albedo planetario e dunque su RN e dunque sul bilancio energetico. A questo feed-back negativo si oppone il feed-back positivo seguente: le piante aumentano la sostanza organica nel suolo con effetti positivi sulla struttura del terreno che si traducono in un sensibile ampliamento della capacità del suolo di immagazzinare acqua. Questo fenomeno dal canto suo ritarda lo svuotamento estivo della riserva idrica del terreno con effetto di feed-back positivo che è esattamente opposto rispetto a quello precedentemente discusso. Quale dei due feed-back vincerà? Credo che la risposta sia al momento aperta.

E' a questo punto interessante osservare che siamo caduti in una palese contraddizione fra quanto affermato al punto 2 (la temperatura globale di superficie diminuisce) e quanto affermato al punto 3 (la temperatura globale di superficie aumenta). Come dirimere la questione? Immagino si possa farlo con modelli utilizzati in modo responsabile, e cioè calibrati e validati.

Se tutto va bene siamo rovinati?

Come risultato finale degli effetti suddetti appare dunque non così peregrina l'ipotesi secondo cui la temperatura globale di superficie (quella misurata dalle stazioni a 1.80 m da terra) possa aumentare spinta non tanto dall'effetto diretto di CO₂ come gas serra (cui si assocerebbe quello indiretto della CO₂ stessa su vapore acqueo e nubi) quanto dall'azione della CO₂ stessa come "concime" per le piante.

Alcune domande principali sorgono a conclusione di questo ragionamento:

1. Quali possibilità abbiamo di farci un'idea sul sussistere e sulla rilevanza complessiva di tale fenomeno?
2. le simulazioni con GCM svolte in sede IPCC prendono in considerazione l'aumento della biomassa vegetale che con ogni probabilità ha avuto luogo negli ultimi 150 anni?
3. L'aumento della biomassa globale (cui dovrebbe associarsi un aumento di biodiversità) è da ritenere positivo o negativo? Secondo la teoria di Gaia il fenomeno è da considerare positivo senza alcun se e ma (Kleidon, 2002). E gli ambientalisti cosa ne pensano?

Concludo questo post sottolineando il fatto che lo scopo di un dibattito in sede scientifica dev'essere quello di discutere ipotesi che ci consentano di comprendere il funzionamento della macchina del clima di cui ancor oggi abbiamo un'idea assai parziale. Tali ipotesi devono andare in tutte le direzioni, comprese quelle che, partendo da basi diverse da quelle dei sostenitori della teoria dell'Anthropogenic Global Warming, avvalorano comunque l'idea di un ruolo chiave della CO₂ nella macchina del clima terrestre.

BIBLIOGRAFIA

- Priestley, C.H.B., 1966. The limitation of temperature by evaporation in a hot climate. *Agricultural Meteorology*, 3, 241-246.
- Riehl, H., and J. S. Malkus, 1958. On the heat balance in the equatorial trough zone. *Geophysica*, 6, 503–538. Fraedrich et al, 2005. Green planet and desert word http://www.mi.uni-hamburg.de/fileadmin/files/forschung/theomet/planet_simulator/downloads/plasim_mz_2.pdf
- Kleidon, 2002. Testing the effect of life on earth's functioning – how gaian is the earth system? *Climatic Change* 52: 383–389, 2002.
- Pielke Sr., R.A., 2001: Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Rev. Geophys.*, 39, 151-177. <http://pielkeclimatesci.files.wordpress.com/2009/10/r-231.pdf>
- Pielke, R.A. Sr., J. Adegoke, A. Beltran-Przekurat, C.A. Hiemstra, J. Lin, U.S. Nair, D. Niyogi, and T.E. Nobis, 2007: An overview of regional land use and land cover impacts on rainfall. *Tellus B*, 59, 587-601. <http://pielkeclimatesci.files.wordpress.com/2009/10/r-315.pdf>
- Pielke, R.A. and R. Avissar, 1990: Influence of landscape structure on local and regional climate. *Landscape Ecology*, 4, 133-155. <http://pielkeclimatesci.files.wordpress.com/2009/09/r-107.pdf>
- Araus et al., 2003. Productivity in prehistoric agriculture: physiological models for the quantification of cereal yields as an alternative to traditional Approaches, *Journal of Archaeological Science* 30, 681–693
- Incrocci L., Stanghellini C., Dimauro B., Pardossi A., 2008. Rese maggiori a costi contenuti con la concimazione carbonica, *Informatore Agrario*, n. 21, 57-59
- Korner C. 2006. Plant CO2 responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist* 172: 393–411
- Prentice I.C., Harrison P., Bartlein P.J., 2011. Global vegetation and terrestrial carbon cycle changes after the last ice age, *New Phytologist* (2011) 189: 988–998 – see comments at <http://www.co2science.org/articles/V14/N34/EDIT.php>
- Simmon R. 2012. Global garden, NASA Earth Observatory, based on data from Montana University - Numerical Simulations Terradynamic Group – NTSG (<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalGarden/>).
- Kleidon, 2002. *Testing the effect of life on earth's functioning – how gaian is the earth system? Climatic Change* 52: 383–389, 2002.
- Oke T.R., 1978. *Boundary layer climates*, Methuen & Co. Ltd, London, 371 pp.
- Stull R.B., 1997. *An introduction to boundary layer meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 670 pp.