Indice

p. 9 Introduzione

13 Capitolo 1
La strega si presenta
1.1. Struttura molecolare e proprietà della CO_2, 13
1.2. L'accusata si difende, 17

21 Capitolo 2
Il viaggio dell'energia radiante
2.1. Il lungo viaggio dell'energia: dal nucleo del Sole al confine dell'atmosfera, 21
2.2. Dal confine dell'atmosfera alla superficie, 24

31 Capitolo 3
L'effetto serra
3.1. L'effetto serra classico ovvero "la serra del giardiniere", 31
3.2. Ma cos'è l'assorbimento molecolare?, 33
3.3. Le differenze tra il pianeta e una serra, 35
3.4. CO_2 e H_2O vapore: un nano e un gigante, 42
3.5. Variazione della concentrazione di CO_2 e suoi effetti, 43
3.6. Il parere di un fisico controcorrente, 46
3.7. Le misure sperimentali e la simulazione, 48

53 Capitolo 4
L'energia radiante interagisce con l'atmosfera terrestre
4.1. Il viaggio dal Sole, 53
4.2. Adattiamo la legge di Planck alla realtà dei materiali, 55
4.3. Albedo ed emissività ci guidano al bilancio termico dell'energia (senza atmosfera), 56

4.4. Il bilancio dell'energia (con atmosfera), 61
4.5. Tipo 1. Assorbimento/emissione radiante, 64
4.6. Tipo 2. Assorbimento quantistico e riscaldamento del gas, 68
4.7. La stratosfera: perché si riscalda?, 70

p. 73 Capitolo 5
La temperatura del pianeta
5.1. Il punto di arrivo: la temperatura del pianeta, 73
5.2. Oscuramento globale (*Global Dimming*), 76
5.3. Perché le città sono isole termiche?, 79
5.4. Modelli a cascata e amplificazione degli errori, 82

89 Capitolo 6
Alcune considerazioni di chimica-fisica dell'atmosfera
6.1. La composizione dell'atmosfera, 89
6.2. Un poco di storia: come si è arrivati alla composizione attuale, 92
6.3. La strega non può bruciare ma altri gas con effetto serra sì, 93

101 Capitolo 7
CO_2 contro H_2O vapore
7.1. Si presenta spontaneamente a deporre... la molecola dell'acqua, 101
7.2. I due imputati vengono messi a confronto, 102
7.3. Dove la strega ha il predominio, 108

111 Capitolo 8
Cenni di chimica degli oceani
8.1. L'oceano misterioso, 111
8.2. Gli oceani serbatoio termico per tutta l'umanità, 113
8.3. Gli oceani e la loro chimica, 115
8.4. L'acqua di mare è salata, 120
8.5. Il calcio ci salverà, 132
8.6. È vero che gli oceani nel 2050 sommergeranno le coste?, 138

143 Capitolo 9
Lo stato del clima 2018
9.1. Lo stato del clima 2018: una visione d'insieme, 143
9.2. Lo stato del clima 2018: una visione di catastrofe imminente, 152
9.3. Lo stato del clima 2018: le previsioni dei modelli e il senno di poi, 154

p. 157 Capitolo 10
La ciclicità degli eventi climatici
10.1. La Dinamica dei Sistemi, 157
10.2. Sistemi in equilibrio e non, 161
10.3. Oscillazioni cicliche nel nostro sistema, 163
10.4. Il padre di tutte le oscillazioni è a 149 milioni di km da noi, 168

171 Capitolo 11
Ma se davvero fosse la CO_2...
11.1. La sensibilità climatica... ecco la traccia lasciata dalla strega, 171
11.2. Diamo voce ai satelliti, 174
11.3. Gli effetti benefici della strega, 175
11.4. Ecosistemi isolati: la strega agisce dove l'uomo non arriva, 179
11.5. Influenza della CO_2 sulla vita marina, 183

185 Capitolo 12
Effetti non antropogenici sul clima
12.1. Il passato spiega il presente, e non viceversa, 185
12.2. Quando gli effetti eccedono la causa: amplificazione o retroazione positiva, 188
12.3. Raggi cosmici, nubi e clima, 195
12.4. Se il passato spiega il presente, come si ricostruisce il passato?, 199

205 Conclusioni
211 Glossario
229 Bibliografia

Introduzione

Quanti di voi sono al corrente che centinaia di scienziati di chiara fama, delle più prestigiose università e centri di ricerca, dall'Australia alla Norvegia, hanno scritto libri e pubblicazioni scientifiche nelle quali esprimono dubbi sulla responsabilità dell'anidride carbonica (CO_2) sul riscaldamento globale (global warming) del nostro pianeta?

Ad ascoltare giornalisti, tivù, meteorologi, climatologi, tuttologi per così dire "ufficiali", politici, amministratori, alte cariche Istituzionali degli Stati europei e non solo, dichiarazioni dell'ONU attraverso i suoi comitati e strutture varie, sembrerebbe, fatte salve poche eccezioni, esserci un unanime consenso sull'affermazione: «Il brusco innalzamento della concentrazione della CO_2 nell'atmosfera, dovuto all'attività antropica (industrie, produzione dell'energia da combustibili fossili, emissione di veicoli con motori termici, allevamenti intensivi, ecc.) è il responsabile dell'anomalo e repentino riscaldamento della Terra» (in inglese *Antropogenic Global Warming AGW*).

Le voci dissidenti, o anche solo dubbiose su questo assunto, evidentemente sono state messe a tacere, sottoposte a ostracismo, ridicolizzate e bollate a tal punto che i soggetti di queste voci quasi lavorano in silenzio, quasi non si espongono più prendendo atto che questo che stiamo vivendo è l'ennesimo periodo buio della nostra storia durante il quale vige sovrana la frase d'ordine: "chi grida più forte ha ragione!".

Eppure istituzioni e mass media costantemente ci annoiano con frasi di rito che evidenziano l'importanza del dialogo, dell'al-

trui opinione, l'arricchimento che le idee "degli altri" generano. Dunque chi dissente dalla precedente affermazione non ha neppure l'onore di esser classificato come una minoranza e come tale esser tutelato!

In altri termini, l'altrui opinione arricchisce solo se appartiene al recinto delle idee tracciato dalla "voce ufficiale".

Nessuno perde tempo a dimostrare l'esistenza del Sole, è lì con la sua forza, ma quando una idea (la CO_2 è causa del riscaldamento globale) viene continuamente ribadita è segno di una sua intrinseca debolezza.

Si potrebbe facilmente obiettare: è giusto che sia così, nella Scienza c'è chi ha torto e chi ha ragione e chi ha torto deve esser messo a tacere senza falso buonismo, ed è proprio questo il fascino della scienza! Noi autori in questo testo ci siamo impegnati a esporre fatti ed evidenze raccolte studiando, indagando e ricercando. Lasciamo al paziente lettore che vorrà arrivare fino all'ultima pagina la possibilità di giungere a una sua personale conclusione. In altri termini, lo scopo di questo libro è contribuire a divulgare ciò che non è divulgato: dati, grafici, idee e ragionamenti, relativi al sopra riportato assunto virgolettato, che sono stati sottratti al sapere comune!

A questo fine abbiamo pensato di aggiungere un capitolo Glossario, d'ora in poi (G), nel quale vengono affrontati alcuni argomenti in modo più rigoroso e, speriamo, non troppo noioso.

Sia chiaro: il riscaldamento globale e i cambiamenti climatici sono fuori discussione. Ambo gli autori sono stati e ancora sono appassionati "montagnini" e hanno visto sotto i loro occhi sparire le pareti nord più affascinanti delle nostre Alpi e tristemente ridursi i loro ghiacciai già in tempi non sospetti. Fuori di dubbio che negli ultimi anni ci sia stato un incremento della concentrazione di CO_2 e che questa sia un gas attivo nell'IR (infrarosso) e quindi un attore del cosiddetto "effetto serra".

Fenomeni chimico-fisici di origine non antropica hanno influenzato il clima secondo dei cicli che sono evidenti analizzando il passato preindustriale (prima del 1750 d.C.). Ci sembra ovvio che

questi fenomeni ciclici perdurino ancora ai giorni nostri, anche se si sono verificate variazioni notevoli della composizione chimica atmosferica, non sperimentate nel recente passato. Ad esempio la CO_2 è rimasta per millenni attorno a valori più bassi (circa 280 ppm) rispetto a quelli attuali.

Tra i fenomeni antropogenici non dimentichiamo di considerare anche la deforestazione, la cementificazione del territorio e il mutamento delle pratiche agricole, tutti fenomeni da correlare all'aumento della popolazione globale. In particolare la distribuzione della popolazione sul pianeta è assolutamente disomogenea, tendendo a concentrarsi in megalopoli che, come noto, sono vere e proprie "isole termiche" con una temperatura di circa +1/+2°C rispetto alla media circostante. Questo dato è da paragonare con l'aumento di circa 1-1,3°C dal 1750 a oggi. Sottolineiamo poi che le variabili climatiche (temperatura, umidità ecc.) sono spesso interpretate a livello locale (a cui siamo molto affezionati) e non come variabili globali medie.

Con l'avvento, dagli anni 80, dei satelliti metereologici le misure di temperatura, umidità, copertura nuvolosa, e recentemente di concentrazione locale di CO_2, stanno gradualmente assumendo una uniformità di campionamento globale, sia sulla superficie terrestre che su quella oceanica, ricordiamoci che i mari costituiscono il 71% della superficie del pianeta. Inoltre non possiamo non chiederci quale affidabilità potesse avere la misura della temperatura media di mari e oceani prima dei rilevamenti satellitari. E poi ancora, come si insegna nelle scuole di ingegneria, a ogni dato di misura sperimentale va assegnato un errore di misura ($\pm \Delta x$), senza il quale questi valori "pre-satellitari" hanno poco significato.

Oltre a ciò, mesi riferiti dai media come i più caldi degli ultimi tempi (luglio 2019) sono in realtà il frutto di misure locali in città con elevata densità abitative mentre a livello globale le temperature di alcuni mesi del 2017 furono più alte!

I fenomeni dovuti all'aumento di CO_2 non sono né lineari né esponenziali, ma sono (probabilmente) vicini a una saturazione rispetto all'assorbimento della radiazione infrarossa emessa dal-

la Terra. La lente di ingrandimento focalizzata sulla CO_2 ci ha fatto perdere di vista i fenomeni naturali e le loro ciclicità, da millenni presenti e che continueranno in futuro. Il Sole, grande e unico protagonista energetico del sistema Terra, gli effetti dei parametri orbitalici terrestri (eccentricità, precessione e altri), il ruolo dell'acqua allo stato sia di vapore che di micrometriche gocce nel determinare la copertura nuvolosa e gli aerosol atmosferici, solo per citarne alcuni. Tutti questi fenomeni naturali alterano in maniera drammatica l'intensità radiante che raggiunge la Terra e quindi il bilancio energetico, la temperatura e il clima.

Il libro cercherà di rispondere ad alcune semplici e intuitive domande sulla sorte finale della CO_2 antropica, prodotta dall'uomo essenzialmente mediante combustione di petrolio, carbone e gas naturale a fini energetici. Vi sono dei meccanismi naturali di regolazione, o di retroazione negativa, che ci aiuteranno a rallentare o azzerare del tutto l'aumento costante dei suoi valori atmosferici, anno dopo anno, dal 1900? È vero che la fotosintesi è l'unico mezzo di recupero della CO_2 dall'atmosfera? Probabilmente le risposte a queste domande che troverete proposte dagli autori vi potranno stupire.

Ci rendiamo conto che alcuni dei capitoli potrebbero risultare ostici per il lettore, e questo nonostante il nostro impegno ad "alleggerire". Questo è essenzialmente dovuto al fatto che, al di là delle nostre capacità divulgative, noi tutti abbiamo maggiore confidenza con alcuni modi di trasmissione del calore, come la conduzione o la convezione, ma meno con l'irraggiamento, visto che viviamo immersi in un gas come l'atmosfera. Di conseguenza abbiamo scarsa esperienza con quest'ultimo e le sue complicate leggi che sono alla base del trasferimento dell'energia radiante, come quella proveniente dal Sole che illumina la Terra e che dalla Terra ritorna nello spazio.

Capitolo 1

La strega si presenta

1.1. Struttura molecolare e proprietà della CO_2

L'anidride carbonica (formula CO_2) è una molecola costituita da tre atomi, due di ossigeno e uno di carbonio al centro. Si tratta di una struttura lineare, in cui i due atomi di ossigeno formano due doppi legami con il carbonio, come in figura 1.1. Gli elettroni dei legami chimici (8 in tutto, due per legame) sono condivisi in maniera asimmetrica in quanto l'ossigeno è più elettronegativo del carbonio. La rappresentazione in colore di questa densità elettronica (rosso negativo, blu positivo) ci dice che si formano due dipoli elettrici, che tuttavia si annullano a vicenda essendo posizionati a 180°. Se vogliamo spingerci ancora all'interno di questa struttura, scopriamo che su i due ossigeni si crea una carica frazionaria (in unità elettroniche) di -0,29, mentre di +0,58 sul carbonio. Nell'insieme la molecola risulterà quindi neutra e apolare.

Questo gas di straordinaria importanza per la nostra vita sulla Terra ha accompagnato in realtà tutta quanta l'evoluzione dell'atmosfera terrestre dalla nascita del nostro pianeta, avvenuta 4,5 miliardi di anni fa. Per almeno un miliardo di anni dalla sua nascita la Terra ha posseduto un'atmosfera costituita essenzialmente da azoto (N_2) e anidride carbonica, non vi era ossigeno (O_2) in quanto dovevano ancora formarsi i primi organismi con proprietà di fotosintesi (cianobatteri o alghe azzurre).

L'ambiente terrestre era molto diverso da come lo possiamo osservare oggi: il magma caldissimo spesso risaliva in superficie ini-

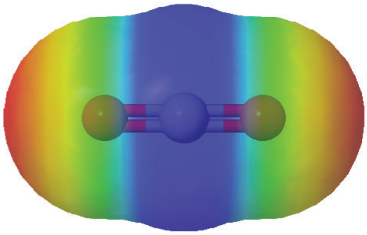

Figura 1.1. *Nuvola elettronica e densità di carica attorno alla molecola di CO_2. Le tonalità di colore dal rosso al blu indicano il passaggio da densità di carica negativa a positiva.*

ziando a formare la prima crosta terrestre, i primi oceani si aggregavano costituiti dall'acqua in gran parte proveniente dallo spazio attraverso il cosiddetto "intenso bombardamento tardivo" avvenuto durante i primi 100-200 milioni di anni. Si trattava di fasci di comete e meteoriti formati da ghiaccio e particelle rocciose provenienti dalla fascia più esterna del sistema solare (fascia di Kuiper), che venivano letteralmente scaraventati sulla Terra per un effetto sinergico dei campi gravitazionali dei due giganti gassosi (Giove e Saturno).

La temperatura dei primi oceani era molto alta (80 – 90°C) con conseguente formazione di dense nubi di vapore acqueo. L'ossigeno non era ancora comparso, pertanto l'atmosfera risultava fortemente riducente (in grado di cedere elettroni), permettendo così la formazione di innumerevoli composti organici sia negli oceani sia nell'atmosfera senza alcuna interferenza ossidativa (ossidazione: sottrarre elettroni) da parte dell'ossigeno stesso. Si formarono pertanto molecole che oggi sarebbero altamente tossiche e incompatibili con la vita come l'acido cianidrico o l'idrogeno solforato, ma che a quei tempi costituirono le prime molecole pre-biotiche.

A quei tempi era però opportuno che si fosse in quelle condizioni, in quanto proprio i primi composti organici diedero in questo modo origine ai "mattoni della vita": con ogni probabilità si formarono adenina, timina e le altre basi azotate che costituiscono ora il codice genetico conservato nel DNA ed RNA.

L'elevata temperatura degli oceani permetteva il formarsi di quantità di nuvole che innescavano intensi fenomeni temporaleschi, con scariche elettriche molto intense. In laboratorio fin dai primi anni '60 del secolo scorso si riuscì a ottenere in condizioni simili

(ma simulate in recipienti di vetro ed elettrodi) la formazione di alcuni amminoacidi, costituenti fondamentali di tutte le proteine.

Ma veniamo alla nostra grande accusata. Nell'evoluzione dell'atmosfera terrestre circa 3,5 miliardi di anni fa la natura riuscì a produrre la clorofilla, molecola complessa contenente un atomo di magnesio al centro di un complesso anello di atomi di carbonio e azoto, con alcune appendici molecolari che servono a posizionare questo pigmento negli appositi organelli cellulari (cloroplasti) deputati appunto alla fotosintesi clorofilliana, con conseguente immissione nel sistema di una nuova sconvolgente molecola: l'ossigeno!

Da lì in avanti, con gradualità, la CO_2 lasciò il posto all'ossigeno nell'atmosfera che divenne ossidante, permettendo poi la vita al regno animale, che utilizza appunto l'ossigeno per il metabolismo (respirazione). Un'interessante conferma di questo eccezionale cambiamento nella composizione atmosferica, di certo il più sconvolgente di tutta la storia terrestre, è il passaggio di colore delle rocce sedimentarie contenenti ferro, che nell'atmosfera primordiale era bivalente (Fe^{2+}) di colore giallo chiaro per poi passare a trivalente (Fe^{3+}) color ruggine con l'atmosfera ossidante. Esaminando la stratigrafia dei sedimenti si nota con facilità questo cambiamento di colore. Questo processo fu tutt'altro che immediato, richiese parecchie centinaia di milioni di anni. Non tutto il carbonio presente inizialmente nella CO_2 atmosferica fu trasformato in composti organici, una buona parte di esso si sciolse negli oceani primordiali, mano a mano che la temperatura si abbassava, formando acido carbonico ma anche carbonato di calcio o di magnesio, sali poco solubili che diedero origine alle rocce calcaree o dolomitiche che ancor oggi osserviamo.

Ecco che, una volta conclusasi questa trasformazione, circa 2,6 miliardi di anni fa, pur con oscillazioni marcate nelle varie ere geologiche, la CO_2 assunse un valore in lenta diminuzione nel tempo fino ad arrivare ai livelli di circa 180 ppm al culmine dell'ultima era glaciale (minimo assoluto in tutta la storia della Terra), dopodiché si ebbero fasi di lenta risalita fino ad arrivare a circa 280 ppm, alle soglie dell'era industriale, attorno al 1750.

Evidentemente su scala geologica molteplici fattori determinarono la concentrazione di questo gas, ma sicuramente si sovrapposero al cosiddetto ciclo breve del carbonio, che permane tutt'oggi, come in passato. Si tratta di una periodicità di circa 4-10 anni (la durata dipende dal tipo di organismo fotosintetico, è più breve per quelli unicellulari e più lunga per le piante con tronco). Essa rientra nei cicli naturali di una serie di elementi chimici, ben nota a chi studia la "chimica dell'atmosfera". In altri termini l'atmosfera è un continuo ricambio di composti ed elementi chimici, senza che noi lo percepiamo direttamente: un sistema in continua circolazione dinamica.

Assieme al carbonio, lo zolfo, il fosforo, il sodio, il potassio, l'azoto (solo per citare i principali) partecipano a spostamenti ciclici tra suolo, acque superficiali, oceani e, per alcuni di questi, atmosfera. Questi sistemi sono altamente dinamici, anche se spesso non ci accorgiamo di questo quando la concentrazione di questi elementi è costante nel tempo. Questo indica che in un certo "serbatoio" (ad esempio l'atmosfera) il flusso in ingresso e quello in uscita per un certo elemento sono identici.

Il carbonio viene catturato dalle piante verdi e dal fitoplankton: in termini più scientifici la fotosintesi riesce, attraverso l'energia radiante del Sole, a spezzare un legame molto stabile, quello tra idrogeno e ossigeno nella molecola d'acqua, dopodiché, attraverso complessi meccanismi cellulari, l'idrogeno riduce la CO_2, ovvero si combina con il carbonio formando composti organici (biomassa). L'ossigeno dell'acqua entra nella costituzione della stessa biomassa, mentre quello nella molecola della CO_2 viene eliminato nell'atmosfera come prodotto di "scarto". Possiamo quindi rappresentare genericamente la fotosintesi con la stechiometria:

$$n \cdot CO_2 + n \cdot H_2O + (h\nu) \rightarrow (CH_2O)n + n \cdot O_2(gas)$$

dove $(CH_2O)n$ è una approssimazione chimica per la composizione della biomassa vegetale. Come si vede la fotosintesi assorbe CO_2 e produce O_2.

$h\nu$ rappresenta l'energia del quanto di radiazione visibile che

sta alla base della reazione (h è la costante di Planck (G); e ν la frequenza della radiazione).

Questa reazione che assorbe CO_2 e produce ossigeno è bilanciata in maniera quasi perfetta (si vedrà più avanti in che misura) dalla reazione inversa che avviene durante la respirazione animale (compresa quella umana), vegetale (durante la notte) e soprattutto dall'ossidazione microbica e dal decadimento delle biomasse morte.

$$(CH_2O)n + n{\cdot}O_2(gas) \rightarrow n{\cdot}CO_2 + n{\cdot}H_2O$$

Alla fine il serbatoio atmosferico rimane inalterato, sia per l'ossigeno che per la CO_2, ma attenzione: soltanto per il ciclo breve. Altri cicli con periodicità molto più lunga possono influenzare in maniera molto più massiccia e su scale di tempi molto più lunghe questi serbatoi.

Fino a qui abbiamo delineato il ciclo breve di due importanti elementi, come l'ossigeno e il carbonio. In assenza di perturbazioni esterne, cosa che nell'ecosistema Terra è praticamente impossibile da realizzare, i flussi in ingresso e in uscita si bilancerebbero e non vedremmo variazioni di concentrazione in atmosfera. Ma non è così, essi sono perturbati da variabili esterne al sistema, una su tutte: la combustione di enormi quantità di combustibili fossili (per dare un esempio nel 2018 si sono consumati 93 milioni di barili di greggio al giorno per fini essenzialmente energetici). Un fiume vero e proprio se pensiamo che 1 barile equivale a 159 litri, quindi la cifra globale potrebbe colpire molto. I dati sul petrolio non solo sono elevatissimi ma, nonostante gli sforzi per introdurre nel sistema l'utilizzo di energie rinnovabili, in continua crescita di anno in anno.

1.2. L'accusata si difende

Ora che siamo entrati nella logica dei cicli naturali degli elementi guardiamoci intorno per trovarne altri. In realtà quasi ogni elemento della tavola periodica presenta variazioni cicliche della sua

quantità contenute nei vari serbatoi (o stocks in inglese) presenti sul nostro pianeta. Il principale di questi stock è certo l'atmosfera. Con la circolazione meteorologica essa mostra concentrazioni pressoché omogenee dei vari gas di cui è composta (anche se per la CO_2 ci sono piccole ma importanti variazioni locali, come si vedrà in seguito). Altri stock sono ad es. i depositi sedimentari sul fondo degli oceani, le acque oceaniche salmastre, le acque dolci dei laghi e fiumi, determinate formazioni geologiche o al limite la stessa crosta terrestre nel suo insieme.

Se trascuriamo l'arrivo di meteoriti e micrometeoriti (qualche migliaio di tonnellate/anno, poca cosa rispetto alla massa totale del nostro pianeta) la Terra è un sistema chiuso, nel senso che non avviene scambio di materia con l'esterno (lo spazio infinito) ma solo di energia radiante (cfr. G). Se non vi fosse nemmeno scambio di energia allora il sistema, in termini fisici, si chiamerebbe "isolato". Ma non è così.

I vari elementi della tavola periodica passano da un contenitore all'altro spinti dall'attività dell'uomo (detta anche antropica) o da cause del tutto naturali. Parlando molto in generale si devono distinguere diverse modalità: molti elementi "tecnologici" come ferro, alluminio, magnesio e tanti altri, sono conservati in giacimenti concentratisi per via di fenomeni avvenuti in lontane ere geologiche. L'attività antropica non fa altro che utilizzare il deposito ad alta concentrazione e disperdere l'elemento o i suoi manufatti su tutta la superficie terrestre, quindi a bassa concentrazione. Detto in termini un pochino più scientifici aumenta l'entropia del sistema (G), rendendolo più stabile.

Per i metalli nobili si utilizza un processo inverso: spesso un giacimento a bassa concentrazione viene utilizzato per ricavarne il metallo in forma massiva (es. oro, argento) cercando di limitarne al massimo la dispersione nell'ambiente. Questo richiede un certo dispendio di energia, perché l'entropia diminuisce (come insegna la termodinamica).

Esiste infine una terza modalità valida per alcuni elementi che partecipano a cicli biologici, in primis il carbonio, elemento base

per tutta la chimica organica e la biochimica. Ma non solo: zolfo, potassio, fosforo, sodio, ossigeno e altri elementi meno importanti sono attori di questi cicli. Questo reca prevalentemente beneficio agli esseri umani, ma non sempre, un semplice esempio: l'azoto (N), il quale, come molecola, è la più abbondante (78% in volume) dell'atmosfera terrestre. Si tratta di un gas abbastanza inerte (poco reattivo chimicamente), infatti la molecola N_2 è biatomica con un legame interatomico particolarmente forte (triplo legame). Tuttavia l'azoto come elemento è un componente essenziale della biosfera, partecipa alla formazione degli amminoacidi e di altre importantissime molecole biologiche. L'atmosfera è quindi il principale serbatoio per la formazione di composti biologici, tuttavia la conversione dall'azoto atmosferico è particolarmente difficile (fissazione dell'azoto). Nell'ecosistema questo avviene mediante particolari batteri che vivono in simbiosi con le radici di alcune piante (es. leguminose) i quali riescono a ridurre l'azoto ad ammoniaca (NH_3). Questo composto può venire assorbito dalla pianta ospite o ossidato in condizioni aerobiche (presenza di ossigeno) a ione nitrato (NO_3^-). Quest'ultimo viene assimilato molto facilmente dalle radici delle piante, trasformato quindi in composti organici vari. Per decomposizione del materiale organico vegetale, a seconda delle condizioni, si può riformare N_2 atmosferico o ione nitrato. Lo ione nitrato viene comunque infine trasformato, in condizioni anaerobiche (carenza di ossigeno), dai batteri denitrificatori in N_2 atmosferico e quindi il ciclo si completa.

Questi vari cicli combinati hanno determinato sulla Terra come su altri pianeti una evoluzione dell'atmosfera che infine ha portato alle condizioni attuali. Per renderci conto dell'importanza dei fattori all'origine di ciò, confrontiamo l'evoluzione dell'atmosfera terrestre con quella di uno dei pianeti adiacenti, ad esempio Venere (più vicino al Sole della Terra). Presumibilmente tutte e due i pianeti si formarono con simili ingredienti di partenza, ma le composizioni delle atmosfere attuali non potrebbero essere più distanti. A causa del maggiore irraggiamento solare la temperatura superficiale di Venere non permise mai la formazione di acqua liquida in oceani, che

potessero assorbire la CO_2. Questa rimase quindi nell'atmosfera fino ai giorni nostri con valori elevati di pressione (circa 100 atm) e percentuale (96%, il resto essendo azoto). Non possedendo Venere un campo magnetico come la Terra, il vento solare (particelle cariche ad alta energia) non viene deviato e bombarda la superficie. Assieme all'intensa radiazione ultravioletta (UV) questi due effetti provocarono la decomposizione nel tempo dell'acqua vapore in idrogeno, che per la sua bassa massa riesce a fuggire dal campo gravitazionale del pianeta. L'ossigeno rimasto ossida il carbonio e gli altri elementi della superficie. Come risultato finale l'acqua è veramente minima (su Venere) e concentrata in imponenti formazioni nuvolose che coprono l'intero pianeta a circa 50 km dalla superficie. La temperatura superficiale risultato di tutto ciò è attorno ai 400°C, rendendo il pianeta del tutto inospitale per ogni forma di vita.

Quindi, riassumendo, la nostra accusata si difende indicando una serie di elementi che partecipano come Lei da miliardi di anni a cicli terrestri senza incidere minimamente sul clima del pianeta.

Un breve riassunto:

1. la CO_2 accompagna l'atmosfera terrestre in tutta la sua storia di 4,5 miliardi di anni;
2. con l'avvento della fotosintesi, circa 3,5 miliardi di anni or sono, essa è diventata l'unica sorgente dell'elemento carbonio, importantissimo in biochimica, per gli organismi vegetali;
3. come conseguenza le piante verdi emettono l'ossigeno nell'atmosfera;
4. il carbonio, come l'azoto e altri elementi, viene continuamente immesso nell'atmosfera e assorbito da essa mediante svariati processi, instaurando un ciclo continuo, il cui bilanciamento può variare nel tempo.