

Prefazione

«Professore, lei pensa sia possibile separare il diossido di carbonio presente in atmosfera per farlo ritornare a essere parte di nuovi combustibili analoghi a quelli usati oggi?»

L'ingegner Re Fiorentin mi fece questa domanda ormai 10 anni fa. Per un ospite così importante, allora direttore del Centro Ricerche FIAT, avevo prenotato il salottino verde del rettorato, al Politecnico di Torino. Era forse questo il motivo dell'incontro...

A quel tempo, dopo anni di ricerca, cominciavo ad assaporare le prime disillusioni riguardo alla cosiddetta *economia all'idrogeno*. Secondo questa visione, resa celebre dallo scrittore Jeremy Rifkin all'inizio del 2000, sarebbe possibile accumulare idrogeno utilizzando energia elettrica da fonti rinnovabili e usare poi questo eccezionale combustibile come «vettore energetico», cioè per immagazzinare e trasferire facilmente energia.

Eppure questa rivoluzione annunciata già allora stentava ad affermarsi per la mancanza di soluzioni convincenti su come stoccare e distribuire l'idrogeno (H_2).

Per avere un'autonomia anche solo lontanamente paragonabile ai veicoli a gasolio le auto a idrogeno devono oggi ricorrere a un idrogeno compresso a ben 700 bar (centinaia di volte superiore alla pressione di un normale pneumatico d'automobile), stoccato in bombole posizionate lungo il pianale, con buona pace della serenità di chi ne è alla guida.

Lì per lì anche la domanda che mi aveva appena posto l'ingegnere a Torino mi parve totalmente irrealistica. Mi chiesi se lo scienziato con la testa tra le nuvole e l'innovatore industriale con i piedi ben saldi a terra non si fossero scambiati di posto per un attimo. Nella mia risposta non diedi grandi speranze; vedevo alquanto complesso pescare dall'aria «una a una» molecole di CO_2 , ciascuna circondata da migliaia di altre molecole diverse, per quanto armato di canne da pesca *high tech*.

Col passare del tempo, però, la visione di Re Fiorentin è diventata una delle più importanti fonti di ispirazione per le mie ricerche e per quelle di un crescente numero di ricercatori in tutto il mondo, che si dedicano a quella che è nota come *fotosintesi artificiale*.

Rimuovere il CO_2 dall'atmosfera o, meglio, dalle sue fonti di immissione in essa, per poi riconvertirlo in idrocarburi e in sintesi è una possibile soluzione alle barriere che ancor oggi incontra l'avvento dell'economia all'idrogeno:

- Per convertire il CO₂ serve idrogeno di origine rinnovabile che per reazione con essa può formare o metano o combustibili liquidi (metanolo, benzine, gasoli) stoccabili e utilizzabili esattamente come i loro cugini di origine fossile.
- Nulla cambierebbe nell'attuale rete di distribuzione dei combustibili e, spingendosi oltre, nel nostro stile di vita.

Ma a muovere il direttore del Centro Ricerche FIAT era anche la consapevolezza che in questa prospettiva i motori a combustione interna, così valentemente progettati e realizzati dalla sua società, avrebbero avuto ancora decenni di successo, senza essere rottamati dall'avvento delle celle a combustibile a idrogeno.

La principale associazione dell'industria chimica europea (CEFIC, *European Chemical Industry Council*, acronimo che deriva dall'originale *Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique*) ha fatto dell'uso del CO₂ come materia prima una sorta di progetto bandiera, siglando il 26 marzo 2015 con la Comunità europea un accordo per il finanziamento della ricerca in questo settore nell'ambito del Programma Horizon 2020.

L'8 dicembre 2015 a Parigi, durante la Conferenza delle Parti, 195 Paesi hanno sottoscritto un accordo senza precedenti per la riduzione delle emissioni di gas serra che sostanzialmente prevede la totale neutralizzazione delle emissioni di diossido di carbonio di origine antropica per il 2050.

Secondo una delle massime di Bill Gates, il fondatore di Microsoft (e oggi uno dei più importanti filantropi del mondo), si tende a sovrastimare quanto potremo fare in un anno ma a sottostimare quanto potremo fare in dieci. Anche se condivido,

penso che in trent'anni non vedremo affermarsi l'economia all'idrogeno.

Ben prima potremo però apprezzare i frutti di quella *economia al carbonio sostenibile* che questo libro illustra e che è diventata la missione dell'intero Centro di Ricerca dell'Istituto Italiano di Tecnologia che oggi dirigo, il Centre for Sustainable Future Technologies, a Torino.

Per carità, da uomo maturo so che difficilmente esisterà un'unica risposta al problema del riscaldamento globale. In questo volume descriverò alcune delle possibili soluzioni, solo alcune delle componenti che consentiranno alla nostra specie di superare le sfide poste dai cambiamenti climatici.

Nel mio cuore coltivo però la speranza che un giorno i miei figli, imbattendosi in questo libro in una libreria impolverata, ne leggano almeno la prefazione e possano dire: «Be' ...papà ci aveva preso!»

G. S., Torino, agosto 2017

Avvertenza: Per indicare il composto CO_2 in questo libro useremo sia il nome IUPAC «diossido di carbonio» sia il nome tradizionale «anidride carbonica».

CAPITOLO PRIMO

L'evoluzione della nostra atmosfera

C'era una volta il pianeta Terra

Come ci ha insegnato il filosofo romano Cicerone, *Historia magistra vitae*, cioè «la Storia è maestra di vita».

Per salvare il nostro pianeta dalle conseguenze dell'effetto serra occorre rapidamente ristabilire un equilibrio tra i gas serra che immettiamo in atmosfera e quelli che la natura può assorbire. In questo modo impediremo significativi e ulteriori incrementi della temperatura terrestre. La lunga storia della Terra ci può aiutare ad affrontare il problema: consideriamo quello che è accaduto finora dalla sua genesi seguendo l'orologio geologico da quasi 4,6 miliardi di anni, l'età del nostro pianeta, rappresentato in figura 1.

All'inizio una nebulosa di polvere interstellare si contrasse per formare un sistema planetario. Come

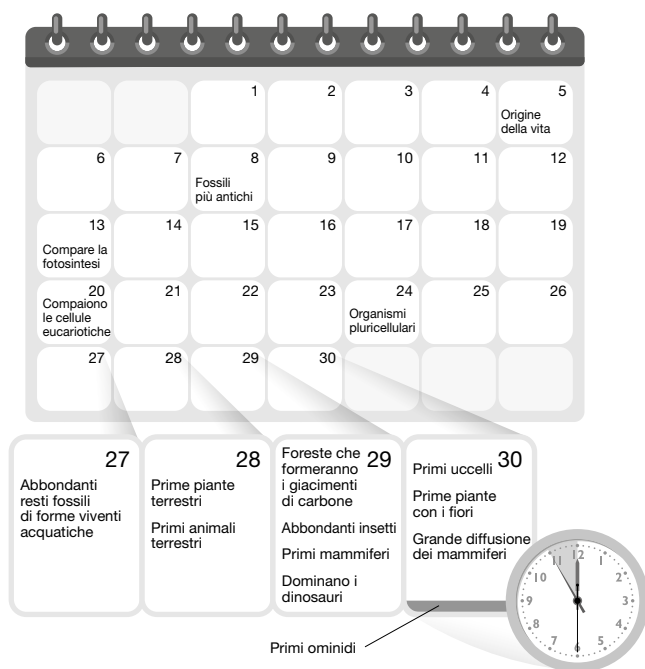


Figura 1. Se immaginiamo di rappresentare la Terra attraverso un calendario e un orologio, ogni giorno corrisponde a 180 milioni di anni; l'uomo compare negli ultimi 5 minuti.

era già noto a Galileo nel diciassettesimo secolo, il Sole era al centro di questo sistema. Ben presto i gas più leggeri (idrogeno ed elio) lasciarono l'atmosfera per lo spazio, rimpiazzati, durante il periodo Adeano (tra i 4,6 e i 4 miliardi di anni fa), da ammoniaca, metano, vapore acqueo e diossido di carbonio prodotti dall'intensa attività vulcanica dovuta all'immenso calore generato dalla contrazione. Questi gas indussero un effetto serra superiore a quello attuale, tale da compensare la minor

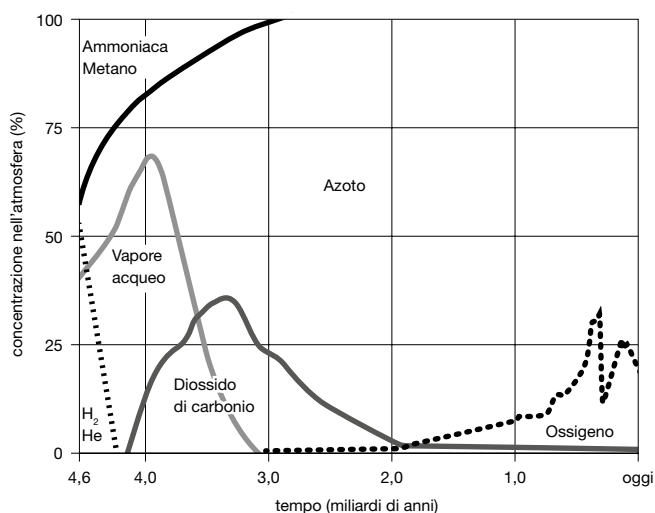


Figura 2. Evoluzione della composizione della atmosfera terrestre.

attività del Sole (figura 2). Nei primi 800 000 anni della sua esistenza la Terra si raffreddò progressivamente, fino a conseguire l'assetto attuale: una crosta solida di elementi leggeri e un cuore fuso di elementi pesanti.

Dall'acqua alla vita

Secondo una delle teorie più accreditate, la Terra fu raggiunta da moltissime meteoriti e comete che le fornirono una grande quantità di acqua e composti organici a base di carbonio che in essa si disciolsero.

La superficie del globo terrestre passò da 1600 °C a temperature compatibili con la presenza di acqua

allo stato liquido, il composto fondamentale per la comparsa della vita.

Poco meno di 4 miliardi di anni fa una serie di reazioni chimiche portò alla formazione di molecole organiche come la formaldeide, l'urea o gli amminoacidi. Le reazioni chimiche si erano innescate grazie al calore terrestre, a rocce che agivano da catalizzatori, come le piriti, ai fulmini e alle radiazioni ultraviolette del Sole. Le molecole organiche interagirono a loro volta per formare strutture ancora più elaborate e complesse e infine diedero luogo a molecole che erano in grado di riprodurre copie di sé stesse e catalizzare alcune reazioni chimiche (i primi enzimi).

Nei mari primordiali si erano formate anche molecole organiche di tipo fosfolipidico. Queste possiedono un'estremità idrofila, cioè attratta dall'acqua, e un'estremità idrofoba, che invece la respinge: per questa ragione in un ambiente acquoso formano spontaneamente membrane a doppio strato in grado di organizzarsi a loro volta sotto forma di gusci sferici detti *liposomi* (figura 3).

Semplici, ma utili!

La formazione di liposomi intorno alle molecole in grado di autoreplicarsi e di catalizzare reazioni chimiche portò infine allo sviluppo dei primi organismi unicellulari. Questi ultimi vivevano in assenza di ossigeno e per questo li chiamiamo, così come i loro discendenti, *anaerobi*. I nostri lontanissimi

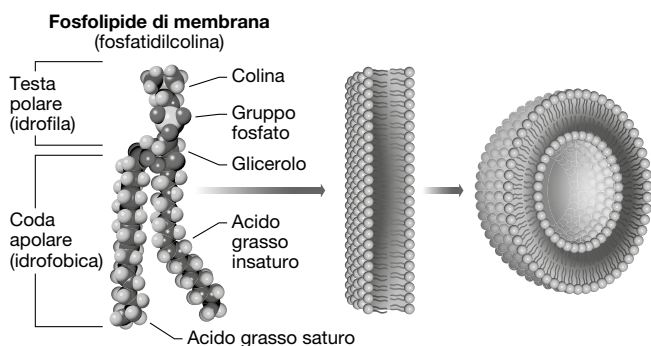


Figura 3. Un fosfolipide e la formazione di membrane fosfolipidiche bistrato e di un liposoma.

antenati si sviluppavano e si riproducevano consumando i composti organici e inorganici disciolti nelle acque. Producevano molecole di scarto che si accumulavano in un'atmosfera terrestre del tutto diversa da quella odierna, dominata cioè da diossido di carbonio e metano. Oppure rimanevano sciolte in acqua (alcoli, acidi). Il metabolismo di queste cellule, cioè l'insieme delle reazioni chimiche che permettono a un organismo di crescere e riprodursi, era però relativamente semplice e poco efficiente. Eppure a volte la semplicità è l'arma vincente: tutte le forme di vita conosciute trassero origine da queste cellule primitive, di cui oggi non rimangono fossili (figura 4).

Le prime forme di vita erano *procarioti*, costituiti cioè da una cellula priva di nucleo. I procarioti sono suddivisi nei domini dei *batteri* e degli *archei*: secondo alcuni studiosi furono proprio questi ultimi, poco più di due miliardi di anni fa, a dare origine agli *eucarioti*. Le cellule eucariote sono caratterizza-

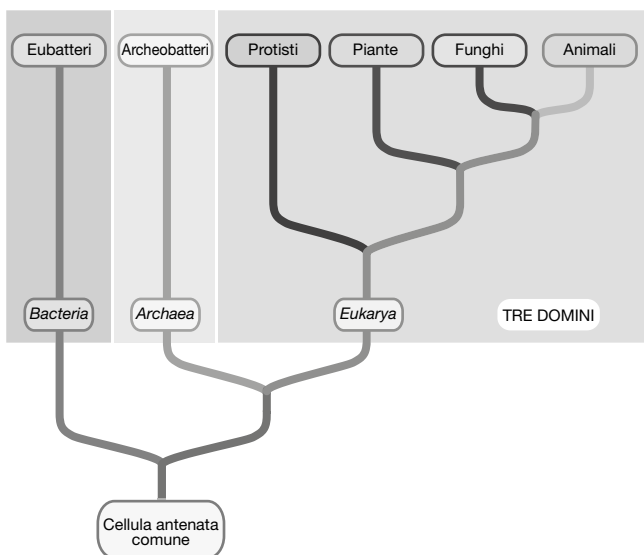


Figura 4. L'esplosione delle specie viventi che si sono originate dai procarioti primordiali.

te dalla presenza di un nucleo ben definito e isolato dal resto della cellula tramite una membrana, nel quale è racchiusa la maggior parte del materiale genetico rappresentato dal DNA.

Col passare del tempo, tra gli eucarioti emerse un'altra importante innovazione: la *pluricellularità*, senza la quale oggi non esisterebbero molti funghi, le piante, gli animali e gli esseri umani.

Ma per i nostri fini saranno particolarmente utili proprio i microrganismi, in grado di fare poche cose in modo relativamente semplice. Infatti «consorzi» di microrganismi anaerobi, analoghi a quelli sviluppatasi più di 3 miliardi di anni fa, sono oggi i principali responsabili della digestione anaerobica

di rifiuti organici per la produzione di biogas, una miscela di metano (55-70%) e diossido di carbonio (30-45%) considerata a pieno titolo un vettore energetico rinnovabile di crescente importanza. E del resto, molti microrganismi anaerobici ancestrali possono essere messi al servizio di passaggi fondamentali per il riutilizzo del diossido di carbonio come materia prima. Questi microrganismi sono ancor oggi presenti nelle profondità del mare in prossimità dei geysers o nelle zone prive di ossigeno dei terreni.

Arriva la fotosintesi

Torniamo alla nostra breve storia degli ultimi miliardi di anni: con buona pace del detto *Natura non facit saltus*, cioè «la natura non fa balzi», circa 3,7 miliardi di anni fa comparve la fotosintesi, destinata a cambiare profondamente il volto del nostro pianeta. L'evoluzione produsse procarioti in grado di usare la luce del Sole come fonte di energia attraverso nuovi enzimi complessi: i *fotosistemi I e II*. Inoltre, i procarioti impiegavano il diossido di carbonio, presente allora in grandissima quantità nell'atmosfera terrestre, come fonte di carbonio per la sintesi degli zuccheri e di tutte le molecole necessarie alla vita delle cellule.

Oggi questi batteri sono molto studiati per essere modificati geneticamente e trasformati in vere e proprie fabbriche di composti chimici ad alto valore aggiunto alimentate da Sole, acqua e CO₂.