



Convegno di EcoOne
Castel Gandolfo, 17 – 19 aprile 2009

Il ciclo del carbonio e del calcio in natura: un modello per la gestione dei rifiuti

Giuseppe Giaccone

Il ciclo del carbonio e del calcio in natura

Nell'aria vi sono 650 miliardi di tonnellate di CO₂ e negli oceani, in varie specie di ossidi, si trova un volume di CO₂ pari a 50 volte quello presente nell'aria.

Nei sali di calcio, cioè nelle rocce carbonatiche, si trova un volume di CO₂ pari a 40 mila volte quello dell'atmosfera. Quindi, negli oceani abbiamo un sistema tamponante molto efficiente, che toglie e mette in deposito la CO₂ dell'atmosfera, permettendo l'aumento dell'ossigeno fino all'attuale concentrazione del 21% in volume. Ma il deposito del carbonio nei carbonati è realizzato negli oceani dagli organismi fissatori di carbonati, cioè dai biocostruttori di rocce calcaree. Questo può avvenire soltanto al di sopra dei 4 mila metri di profondità. Al di sotto, i carbonati per leggi chimico-fisiche non possono formare depositi calcarei, perché restano in soluzione come bicarbonati, conferendo il colore latteo alle correnti fredde di risalita profonda, come per esempio nelle isole dei Caraibi o in alcuni tratti delle coste meridionali della Sicilia.

Il carbonio, come è noto, è l'elemento base sia per costruire le molecole organiche, sia per espletare la fotosintesi e la respirazione, cioè i processi energetici. La gestione di questo elemento in natura è legata con frequenza al ciclo del calcio e del magnesio. Il modello di questo ciclo comporta sia aspetti di dinamica geomorfologica dei paesaggi del Pianeta, sia cicli energetici nei depositi e nelle sorgenti di questi elementi.

Inizialmente, sul pianeta Terra questi cicli furono attivati dai Cianobatteri o Alghe Azzurre che costruirono le piattaforme carbonatiche a stromatoliti nel paleozoico e nel mesozoico.



Alcune di queste biocostruzioni monumentali viventi si possono ammirare ancora sulle coste occidentali dell'Australia. Oggi compiono questa attività le alghe e gli animali biocostruttori delle barriere e degli atolli corallini nella fascia tropicale e nelle fasce temperate di tutti i mari del mondo.

L'importanza dell'azione di questi biocostruttori per gli equilibri del Pianeta è stata messa in evidenza in Mediterraneo con l'adozione in gennaio 2008 del "Piano di Azione per la Conservazione del Coralligeno e delle altre Biocostruzioni nel Mediterraneo", firmato da tutti i Paesi contraenti la Convenzione di Barcellona. Anche l'Agenzia Europea per l'Ambiente ha incluso nel sistema EUNIS, che sviluppa la rete Natura 2000, le formazioni organogene marine tra gli habitat da conservare negli oceani e nei mari dell'Unione Europea.

Le montagne dolomitiche e calcaree esistenti in tutti i continenti si sono originate nel mesozoico e nel cenozoico soprattutto da antiche formazioni coralline. Molte colline e scogliere costiere formate da rocce calcarenitiche sono il risultato della produzione di sabbie biogeniche prodotte da organismi fossili fissatori di carbonato di calcio.

Altro carbonio si deposita nei residui organici e poi nel legno delle foreste, nelle ossa dei vertebrati, nelle conchiglie degli invertebrati e soprattutto nei carboni fossili, nei bitumi, negli altri prodotti petroliferi e nelle rocce scistose.

Le attività umane in un secolo, bruciando carbone fossile e petrolio, hanno mobilitato la CO₂ facendola aumentare da 0,027 a 0,035%. In altre parole, la quantità di carbonio rilasciata (180 miliardi di tonnellate su una riserva totale di circa 10 mila miliardi di tonnellate allo stato fossile, estraibile solo in minima parte dalla tecnologia industriale attuale) è pari al 28% della riserva atmosferica che, lo ricordiamo, è di 650 miliardi di tonnellate.

A questo proposito, la vita negli oceani regola l'atmosfera sia attraverso il deposito dell'anidride carbonica, effettuato da organismi eucarioti fissatori di carbonati, sia attraverso la mobilitazione dell'ossigeno dalle rocce ossidate, effettuato soprattutto da organismi procarioti anaerobi e riduttori di solfati, fosfati e carbonati.

L'atmosfera, ed in particolare alcuni dei suoi componenti, consente alla Terra di mantenere il calore entro limiti che variano dall'equatore ai poli, ma che consentono a tutte le latitudini lo svolgimento dei fenomeni biologici. Quindi l'effetto serra naturale è un



fenomeno positivo per la biosfera.

Uno dei componenti gassosi che contribuisce alla generazione di questo effetto è l'anidride carbonica. La quantità di anidride carbonica immessa nell'atmosfera dall'attività industriale nell'ultimo secolo è pari a quella che ha prodotto, nello stesso periodo, la respirazione dell'intero biota. Quindi, in termini di abitanti equivalenti, l'attività industriale ha causato un effetto nel produrre CO₂ come se fossero raddoppiati tutti gli esseri viventi della biosfera. Ma la Terra, nelle ultime ere glaciali, ha conosciuto valori di CO₂ simili a quelli attuali in assenza delle immissioni industriali. La CO₂ scende di livello durante una glaciazione e aumenta durante i periodi caldi dell'interglaciale. L'oceano, in questi periodi caldi, per leggi fisiche si comporta come sorgente più che come deposito di CO₂.

Dai dati raccolti nella stazione climatica di Mauna Loa nelle Hawaii e dalle analisi sulla composizione isotopica dell'atmosfera negli ultimi 150 mila anni (attraverso l'analisi dell'aria intrappolata nei ghiacciai dell'Antartide ottenuta estraendo una carota di 6 chilometri di ghiaccio presso la base di Vostok) è possibile distinguere le fonti di carbonio dell'atmosfera (fonti fossili, vulcani, biota, oceano, ecc.). Pertanto, si ha l'evidenza sperimentale che l'aumento di CO₂ nell'atmosfera è di origine antropica, attraverso la combustione delle fonti fossili (carbone e petrolio). Queste fonti erano dei depositi di carbonio e l'uomo le ha trasformate in sorgenti.

La deforestazione ha reso inefficace un'altra importante struttura di deposito: il legno degli alberi e la biomassa del suolo delle foreste. Le piante erbacee con la loro respirazione sono fonti di carbonio e mancano delle strutture legnose che funzionano da deposito. Ma la fonte maggiore di CO₂ resta l'oceano: per ogni incremento di 1 °C di temperatura nell'acqua, nell'aria passa un 10% in più di CO₂. Quindi la fonte umana, che in un secolo ha contribuito al suo aumento nella misura del 28%, potrebbe diventare trascurabile di fronte agli effetti dell'aumento di temperatura per cause astronomiche e per le oscillazioni climatiche sulle quali l'uomo ha scarso impatto.

Questi sono i problemi che necessitano di essere approfonditi dalla ricerca e che impediscono di prendere decisioni efficaci per controllare la composizione dell'atmosfera ed il clima.

Una cosa è certa: anche se bruciassimo tutti i vegetali terrestri e, con l'inquinamento, distruggessimo tutti vegetali acquatici, il biota (inclusa l'umanità) morirebbe per fame non

per mancanza di ossigeno, perché al mantenimento della sua concentrazione stabile al 21% provvedono i batteri anaerobi dei fondi oceanici e delle zone umide.

I biocostruttori riciclano il carbonio ed il calcio

Negli ambienti marini della fascia temperata gli organismi biocostruttori hanno dato origine nella zona fotica ad alcuni insiemi paesaggistici: le piattaforme carbonatiche ad alghe Corallinacee e a molluschi Vermetidi in superficie, la Biocenosi del Coralligeno ed i letti a Rodoliti in profondità.

Le formazioni biogeniche in superficie sono il risultato della crescita per sovrapposizione e saldatura di talli di alghe calcaree Corallinacee a forma di cuscini o di cornici o di conchiglie tubolari di molluschi sedentari Vermetidi in spazi tabulari detti anche marciapiedi.

La Biocenosi del Coralligeno è caratterizzata in profondità nel suo aspetto tipico dal prevalere delle alghe calcaree come agenti costruttori di veri e propri “reefs” attaccati alle rocce del fondo marino. Altre alghe calcaree, dette Rodoliti, formano “reefs” mobili e rotolano sui fondi sabbiosi formando letti di noduli calcarei con capacità di accumulare carbonato di calcio e di magnesio in quantità paragonabile a quella delle specie del Coralligeno. Tutte queste specie sono chiamate “specie formatrici di habitat e specie ingegneri” perché edificano e modificano la struttura biocenotica secondo un modello funzionale allo sviluppo di un popolamento variegato di specie vegetali ed animali, anche se non coordinano tra di loro un progetto urbanistico come fanno i nostri ingegneri. Si tratta quindi di specie algali capaci di diventare fattori biotici importanti per fare nascere, evolvere e conservare nel tempo una complessa formazione che caratterizza, allo stato vivente, estesi paesaggi sommersi e, allo stato fossile, importanti rilievi montuosi e collinari dei paesaggi emersi nelle epoche geologiche.

Le alghe calcaree che si trovano nel Coralligeno e nei letti a Rodoliti sono una ventina di specie e, dal punto di vista tassonomico, appartengono non soltanto alle Rodoficee o Alghe Rosse (con generi e specie delle famiglie Corallinacee e Peissonneliacee), ma anche alle Cloroficee (con il genere *Halimeda* della famiglia Udoteacee). Ma le alghe calcaree che con la loro crescita contribuiscono in maniera determinante alla costruzione organogena sono solo una dozzina. I differenti generi e le varie specie, per le quali

esistono in letteratura dati certi sulla loro funzione costruttrice, non si trovano sempre e dovunque insieme. Ugualmente varia è la loro importanza nella dinamica evolutiva della formazione organogena sia sulla base delle regioni biogeografiche, definite su basi climatiche, sia in funzione della zonazione bionomica, risultato del complesso sinergismo dei fattori biotici ed abiotici di natura climatica (temperatura, luce, idrodinamismo, ecc.) ed edafica (salinità, sali nutritivi, tipologia del substrato, ecc.).

La biodiversità del Coralligeno è stata calcolata intorno a 1700 specie e, per i letti a Rodoliti, intorno a 400 specie. Queste possono avere ruolo costruttore (“bioconstructor species”), strutturante (“bioformer species”), in vari popolamenti, o ruoli di specie demolitrici (“bioeroders species”, soprattutto Cloroficee e Cianobatteri) o, semplicemente, ruoli poco definiti, come quello delle specie denominate accompagnatrici (specie connettive), trasgressive da altre cenosi, aliene, invasive, ecc.

La capacità di costruire l’habitat in queste specie algali è conseguente al meccanismo di mineralizzazione della parete cellulare sotto forma di carbonato di calcio e di magnesio e con forme cristalline prevalentemente di natura calcitica nelle Corallinacee ed aragonitica nelle Peissonneliacee e nelle Udoteacee. Il processo cellulare di mineralizzazione della parete è molto diffuso sia nel mondo vegetale sia nel mondo animale. Il meccanismo nelle alghe calcaree sembra originato da strutture vescicolari del citoplasma (reticolo endoplasmatico ed apparato di Golgi). Alcune ipotesi attribuiscono questo procedimento di allontanamento degli ioni carbonato dal citoplasma a meccanismi di detossificazione dall’eccesso di questo composto nell’acqua di mare assorbita, ma è soltanto un’ipotesi. Un’altra interpretazione ritiene questa mineralizzazione una difesa contro buona parte degli erbivori ed un’altra ancora un consolidamento del tallo per renderlo resistente alle ingiurie dell’abrasione meccanica dell’idrodinamismo e dell’erosione biotica. Certamente sono intuizioni ragionevoli, ma non vi sono prove sperimentali a sostegno delle varie ipotesi. Si è accertato sperimentalmente che la mineralizzazione non è conseguente all’attività fotosintetica, essendo presente anche in specie parassite ed eterotrofe. Ma la formazione di protoni prodotti nella calcificazione è utilizzata per trasformare i bicarbonati in anidride carbonica. Vi possono essere sinergie con i processi di respirazione legati all’ossido-riduzione dei composti del carbonio. Il fenomeno della calcificazione contribuisce ad equilibrare il deficit di anidride carbonica che accompagna la fotosintesi ed a

mantenere quindi il potenziale alcalino nell'acqua di mare. Dati sperimentali molto preliminari, riportati da vari autori sul Coralligeno, danno misure di produzione di calcare comprese tra 465 g di carbonato di calcio per metro quadro per anno in comunità infralitorali con dominanza di *Halimeda tuna* e di *Mesophyllum alternans* e 170 grammi in popolamenti circalitorali con dominanza di *Lithophyllum stictaeforme*. Il contributo, dato allo sviluppo in spessore della formazione organogena da parte delle alghe calcaree, varia con le condizioni ambientali ed è anche in funzione dell'erosione causata dagli erbivori specializzati e, in generale, dai demolitori che agiscono sia sulle superfici, sia sullo spessore delle porzioni calcificate. Comunque, i tassi di maggiore accumulo (tra 0,006 e 0,83 mm/anno) si sono misurati in ambienti del Circolitorale superiore caratterizzati da fenomeni di risalita di acque profonde e limpide ("upwelling").

In conclusione, il ciclo del carbonio e del calcio in natura è un modello di equilibrio nell'utilizzazione e nel riciclo di elementi che accumulandosi formano nuovi habitat o riserve di energia per promuovere lo sviluppo della biodiversità.

In natura, gli organismi viventi, nell'uso degli elementi e dell'energia, mostrano un progetto relazionale ed economico: i prodotti utilizzati (elementi e composti inorganici ed organici) alla fine della fase di utilizzazione sono smaltiti nell'ambiente nei luoghi e nelle forme chimiche più favorevoli alla loro successiva utilizzazione da parte di altre popolazioni di specie o di altri individui della stessa specie: non esiste in natura una popolazione che inquina il proprio habitat o quello di altre popolazioni e, qualora una popolazione in un luogo è eccessivamente numerosa, scattano meccanismi di migrazione o di controllo demografico da parte di altre popolazioni o di condizionamenti ambientali sfavorevoli. La specie umana attualmente ha un modello di evoluzione culturale sbilanciata verso l'uso di tecnologie di potenza e non verso l'uso di tecnologie di armonia con gli altri utenti della biosfera. L'uomo non sa più progettare uno sviluppo sostenibile e solidale nell'uso dei prodotti e dell'energia. Questo porta nel medio termine all'accumulo dei rifiuti non biodegradabili e dell'energia degradata in calore nell'effetto serra.

La produzione dei rifiuti delle popolazioni umane, con la raccolta differenziata dei materiali non biodegradabili e riutilizzabili e la trasformazione in centrali energetiche della porzione organica, deve tendere ad applicare il modello naturale di armonia realizzato nelle biocostruzioni marine: costruire con i rifiuti altri habitat per la promozione della biodiversità

ed usare l'energia senza sprechi ed eccessive localizzazioni sperequate nella distribuzione della potenza prodotta. Tutti i grandi ecosistemi, l'aria, l'acqua e il suolo, manifestano nella loro unità e relazionalità il progetto di una biosfera che si evolve e si mantiene su equilibri dinamici di materia e di energia realizzati dalle varie popolazioni di specie viventi sulla Terra. Le popolazioni di specie in natura usano i resti delle attività metaboliche per costruire altri habitat che promuovono la biodiversità. La specie umana è l'unica specie che abbandona i rifiuti e fa diminuire la disponibilità degli habitat per la biodiversità. In natura non si producono rifiuti, ma prodotti che si riciclano in tempi geologici o in tempi biologici. Pertanto diventa urgente mettere in atto nella formazione delle generazioni future valori condivisi per rendere efficaci le convenzioni internazionali finalizzate ad attuare la Convenzione di Rio de Janeiro per la conservazione della biodiversità e la promozione di un modello di sviluppo socio-economico sostenibile socialmente ed ecologicamente. Ha suscitato interesse l'interpretazione autorevole che Giovanni Paolo II ha fatto del testo del libro della Genesi che riporta l'episodio del divieto di mangiare il frutto di un albero del Giardino di Eden come limitazione ad usare delle risorse del Giardino (enciclica *Sollicitudo rei socialis*, 34). Si può, con Boero (2010), ancora pensare che Dio abbia dato due comandi: coltivate e custodite il creato e, contestualmente, crescete e moltiplicatevi. Riteniamo che l'umanità venga scacciata dal Giardino perché non è riuscita a realizzare il rapporto di armonia tra lo sviluppo dell'agricoltura e quello demografico, e la sostenibilità di questo sviluppo con la capacità di custodire per le generazioni future l'ambiente del Pianeta, casa dei viventi con risorse limitate, ma destinate a tutti. Il de-grado del Giardino di Eden è stato il frutto proibito, cioè l'uso eccessivo delle risorse del creato. Quindi il degrado ambientale ed il modello insostenibile di sviluppo socio-economico che attualmente l'umanità sta perseguendo è un irresponsabile ripetersi del peccato di origine con il rischio di una cacciata definitiva dell'umanità dal Pianeta, a causa dell'estinzione della specie umana per mancanza di risorse per le generazioni future.

Bibliografia

Ballesteros E., 2006 - Mediterranean Coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanogr. and Mar. Biol.: an Annual Review*. 44: 123-195.

Boero F., 2010 - The study of species in the era of biodiversity: a table of stupidity. *Diversity*. 2: 115-126.

Chemello R., 2009 - Le biocostruzioni marine in Mediterraneo. Lo stato delle conoscenze sui reef a Vermeti. *Biol. Mar. Mediterr.* 16 (1): 2-18.

Foster M.S., 2001 - Rhodoliths: between rocks and soft places. *J. Phycol.* 37: 659-667.

Giaccone G., 2001 - Il ruolo della vita negli oceani nell'origine e nel mantenimento dell'aria. *Grifone*. 6 (54): 1-3.

Giaccone G., 2001 - Ecologia, economia di comunione e sviluppo sostenibile: riflessioni di un ecologo. In: Bruni L., Pelligra V. (eds.): *Economia come impegno civile*. Città Nuova Editrice. Roma: 279-293.

Giaccone G., 2008 - Il Coralligeno come paesaggio marino sommerso: distribuzione sulle coste italiane. *Biol. Mar. Mediterr.* 14 (2): 126-143.

Laborel J., Boudouresque C.F., Laborel-Dequen F., 1994 - Les bioconcrétionnements littoraux de la Méditerranée. In: Bellan-Santini D., Lacaze J.-C., Poizat C. (eds.): *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives*. Musée N. d'Hist. Nat. Paris: 88-126.