

Gaia e il simbiote umano

GIUSEPPE BARBIERO

Gaia e Francesco d'Assisi

*Laudato si', mi' Signore, per sora nostra matre terra,
la quale ne sustenta et governa,
et produce diversi fructi con coloriti flori et herba.*
Francesco d'Assisi, 1224

Nel *Cantico delle creature* Francesco d'Assisi coglie l'essenziale della teoria di Gaia (Lovelock, 1979). Francesco loda il Signore per le creature che da lui discendono e che egli chiama *frate* (fratello) o *sora* (sorella). L'unica eccezione è la terra, che è *sora* ma anche *matre*, riconnettendo in questo modo il sentimento antico di figliolanza dell'umanità con la tradizione patriarcale del cristianesimo medioevale che aveva invece oscurato questo legame per più di 800 anni.

La terra per Francesco *ne sustenta et governa*. Ed è profondamente vero. La nostra sopravvivenza dipende prima di tutto da una fine regolazione della temperatura di superficie della Terra e dalla composizione chimica dell'atmosfera. La temperatura media del nostro universo è di -273°C . Da 3.800 milioni di anni la Terra conserva la temperatura di superficie in un intervallo compreso tra 0° e 100°C , come è dimostrato dalla presenza dell'acqua allo stato liquido, elemento essenziale per la vita. E noi abbiamo le prove che, da quando è apparsa la prima forma vivente fino ad oggi, il filo della vita non si è mai spezzato, per 38 milioni di secoli. La temperatura di superficie inoltre dipende in larga misura dalla composizione chimica dell'atmosfera e non sorprende quindi che questa sia sotto controllo della biosfera. L'atmosfera terrestre è costituita infatti prevalentemente da azoto molecolare (N_2 , 78% del totale) e da ossigeno molecolare (O_2 , 21% totale), molecole quasi tutte di origine biologica. Abbiamo imparato già alla scuola elementare che la presenza dell'ossigeno molecolare nell'atmosfera è dovuta ad un processo di alterazione del ciclo biogeochimico del carbonio operata da organismi capaci di fotosintesi clorofilliana. L'ossigeno molecolare è il prodotto di scarto di questo processo. L'ossigeno si è progressivamente accumulato nell'atmosfera terrestre trasformando l'antica atmosfera anaerobia, dove l'anidride carbonica (CO_2) era la molecola prevalente, nell'atmosfera aerobia di oggi, dove invece la CO_2 è appena lo 0,04%. La fotosintesi clorofilliana, sottraendo CO_2 all'atmosfera, ha anche ridotto l'effetto serra e contribuito a rinfrescare la superficie della Terra. Meno noto è il fatto che anche l'azoto molecolare dell'atmosfera terrestre è

il prodotto di scarto di un processo fondamentale dei processi vitali: la denitrificazione. L'azoto infatti è un componente fondamentale delle strutture biologiche, basti pensare alle basi azotate che costituiscono il DNA e gli amminoacidi che costituiscono le proteine. Alla morte di un organismo segue un processo di decomposizione che ha il suo esito finale il ricircolo completo degli elementi chimici di cui l'organismo era costituito. La gilda dei batteri denitrificatori provvede a smontare le ultime molecole d'azoto e a liberare l'azoto molecolare nell'atmosfera. L'azoto molecolare nell'atmosfera è piuttosto stabile e contribuisce a sua volta a mantenere la pressione atmosferica relativamente costante, condizione essenziale -assieme alla temperatura- perché l'acqua si trovi allo stato liquido.

Sulla Terra la temperatura di superficie e la chimica dell'atmosfera sono finemente regolate e consentono la presenza di acqua allo stato liquido, ossigeno e azoto molecolari. Tutto ciò appare così sorprendente che gli scienziati oggi parlano di Gaia come di un'entità, un organismo *sui generis*. Gaia nella cosmogonia greca è la Madre Terra. L'idea è stata presa a prestito dagli scienziati per indicare la sottile pellicola di vita che riveste completamente il pianeta e che contribuisce attivamente al mantenimento delle condizioni di vita sulla Terra, influenzandone, come abbiamo detto, la chimica dell'atmosfera e la temperatura di superficie. Gaia è un sistema termodinamicamente chiuso, attraversato cioè da flussi di energia e capace di riciclare completamente la materia. Ecco allora, per dirla con Francesco, che la Terra *ne sustenta et governa*, e crea essa stessa le condizioni per mezzo delle quali *produce diversi fructi*.

Ma Francesco con il verso successivo -*con coloriti flori et herba*- coglie un aspetto ancora più sottile e suggestivo. In queste cinque parole c'è tutta la magia della vita: i colori dei fiori e il verde dell'erba. Il colore dei fiori è un'esibizione dionisiaca di sessualità (Barbiero 2003). Molte piante decidue in primavera gemmano i fiori prima delle foglie. Sebbene vengano dal lungo digiuno invernale, i fiori sono prioritari. I colori sgargianti, il profumo, le forme, le sostanze zuccherine, servono ad attrarre gli insetti e facilitare il processo di impollinazione e la riproduzione. È un sistema estremamente efficiente se si è diffuso così rapidamente dopo essere apparso in tempi relativamente recenti, nel tardo Giurassico.

Più complessa è la questione del verde dell'erba. Il verde è il colore della clorofilla, una molecola tra l'altro

sorprendentemente simile all'eme dell'emoglobina del sangue. La clorofilla assorbe tutte le frequenze del visibile ad eccezione del verde, che invece respinge. Ed è per questo che noi percepiamo il verde. Ma il verde è una frequenza che si trova proprio al centro dello spettro del visibile. La clorofilla assorbe bene i due estremi dello spettro, il rosso e il blu-viola, ma inspiegabilmente non il verde, che pure avrebbe tutta l'energia utile per attivare i fotosistemi. E invece la clorofilla rinuncia a questa fonte energetica e ci regala il verde. Francesco, con il suo meraviglioso *et produce coloriti flori et herba*, coglie un aspetto estetico di Gaia che solo da poco abbiamo iniziato a esplorare (Kaplan, 1995; Barbiero, 2007a).

Come sta Gaia?

Abbastanza bene, grazie. Ha una temperatura di superficie un po' alta per via di un fastidioso parassita, ma passerà presto: o il parassita modificherà il proprio comportamento e si adatterà alle leggi di Gaia o si estinguerà. Il parassita è apparso circa 150.000 anni fa in Africa. E' un vertebrato della famiglia degli ominidi che ha sviluppato un indicatore di fitness molto particolare: il cervello. Un indicatore di fitness è una caratteristica biologica che si è evoluta specificatamente per evidenziare le potenzialità di riproduzione di un organismo. Il cervello umano è un organo relativamente piccolo (il 2% in peso) ma estremamente esigente: consuma il 15% dell'ossigeno assunto per via respiratoria, il 25% dell'energia metabolica e il 40% del glucosio del nostro sangue. Il cervello quindi rappresenta una finestra molto significativa sulla bontà del patrimonio genetico di chi lo possiede (Miller, 2000). Non stupisce quindi che sia diventato bersaglio della selezione sessuale e si sia potuto sviluppare in fretta fino a diventare un ex-adattamento attraverso il quale possiamo esplorare il mondo spirituale (Barbiero, 2003). Quale che sia la sua origine evoluzionistica, *Homo sapiens*, questo il nome del parassita, ha fin da subito manifestato una distruttività insolita. Per molto tempo questa distruttività era rimasta contenuta dalle piccole dimensioni della popolazione umana, ma negli ultimi cento anni questa è passata da poco più di un miliardo di individui a quasi 7 miliardi. Il focolaio di infezione endemico si è trasformato in una pandemia, diffondendosi ovunque: degli 14,5 miliardi di ettari di terre emerse, l'uomo ne ha occupate 7,7 miliardi. Le terre non ancora toccate dell'uomo, foreste e praterie vergini, sono ridotte ad appena 2,7 miliardi di ettari.

Homo sapiens appartiene al gruppo dei metazoi eterotrofi, un gruppo relativamente insignificante dal punto di vista dei grandi cicli biogeochimici che regolano la fisiologia di Gaia. Tuttavia l'uomo ha sviluppato diversi sistemi ingegnosi per interferire con questi cicli, in particolare con il ciclo del carbonio e con il ciclo

dell'azoto. L'interferenza non è certo tale da compromettere la sopravvivenza di Gaia, ma è diventata sufficiente per modificare in maniera permanente la fisiologia di Gaia, rendendo il pianeta per *noi* inabitabile.

Recentemente un gruppo di scienziati ha pubblicato un complesso studio che ha messo a confronto i nove principali problemi ambientali del pianeta (Rockstrom, 2009). L'obiettivo dello studio era di individuare uno spazio operativo di sicurezza per le attività umane, senza che raggiungano un punto di non ritorno e compromettano la nostra sopravvivenza. Gli scienziati hanno stabilito dei limiti e individuato i processi che hanno superato la soglia del rischio. Essi sono tre, nell'ordine di gravità: 1) la perdita della biodiversità; 2) l'alterazione del ciclo biogeochimico dell'azoto; e 3) i cambiamenti climatici, che sono fortemente connessi all'alterazione del ciclo biogeochimico del carbonio.

La perdita della biodiversità

La capacità distruttiva della nostra specie è documentata dal fatto che il tasso di estinzione è stimato circa 100 volte più alto di quello naturale, presente cioè prima dell'entrata in scena di *Homo sapiens*. Secondo E. O. Wilson il tasso di estinzione continuerà a crescere vertiginosamente fino a 1.000 o addirittura 10.000 volte quello naturale, quando le specie, ora considerate in pericolo, si saranno estinte e gli ultimi resti di alcuni ecosistemi chiave saranno stati cancellati (Wilson, 2006). Nel 2004 sono stati pubblicati i risultati di un ampio studio che si è articolato nel corso di diversi anni, studio che ha accertato che sono a rischio di estinzione il 32% di tutte le specie di anfibi, 12% dei rettili, 23% degli uccelli e il 23% dei mammiferi. Tra i vertebrati, gli anfibi sembrano il gruppo che soffre maggiormente della distruttività umana. Negli ultimi trenta anni delle 5.743 specie conosciute di anfibi, 34 sono state dichiarate ufficialmente estinte, 113 specie non sono state più avvistate e probabilmente sono già estinte, e 1.866 sono inserite nella lista rossa delle specie a rischio di estinzione. Molto più che un genocidio, questo è un *classicidio*. E questi sono dati che riguardano solo i vertebrati. Poco o nulla sappiamo delle condizioni degli invertebrati, dei vegetali, dei funghi e soprattutto dell'immenso mondo dei protisti e dei batteri, invisibili a occhio nudo, ma spesso fondamentali per la tenuta degli ecosistemi. Di molti di questi gruppi di viventi non abbiamo nemmeno un catalogo completo, per cui è impossibile stimarne il tasso di estinzione.

Quali sono le cause della perdita della biodiversità? Fondamentalmente cinque: 1) la distruzione degli habitat naturali delle specie; 2) l'invasione di specie alloctone; 3) l'inquinamento; 4) la sovrappopolazione umana; 5) il sovra-sfruttamento delle risorse. Spesso queste cause sono intrecciate fra di loro. La sovrappopolazione umana richiede un maggior sfruttamento

delle risorse. Occorre per esempio trasformare le foreste vergini in aree agricole, riducendo e frammentando sempre più l'habitat naturale di molte specie. La globalizzazione di molti processi produttivi ha generato non solo più inquinamento che ha degradato ulteriormente gli habitat naturali superstiti, ma ha anche aumentato la mobilità delle merci, e soprattutto di un gran numero di specie viventi, alcune delle quali, molto competitive e perfettamente adattate, hanno invaso l'habitat di specie autoctone portandole ad una rapida estinzione. Tutte queste cause però possono essere ricondotte ad un solo dato: la specie umana, da sola, si appropria del 36% della produzione primaria netta (PPN) degli organismi fotosintetizzatori. Tutto il flusso di energia che viene dal Sole e che alimenta la vita sulla Terra viene intercettato dai fotosintetizzatori, i principali organismi autotrofi, i quali mettono a disposizione dell'intera biosfera l'energia solare sotto forma di legami chimici del carbonio. Dei circa 100 Pg (1 Petagrammo = 1 miliardo di tonnellate) di carbonio organico l'anno dagli organismi fotosintetizzatori, più di un terzo viene direttamente o indirettamente accaparrato da una sola specie: *Homo sapiens*. Tutte le altre specie insieme, si stimano siano oltre dieci milioni, devono spartirsi ciò che rimane. L'iniquità della spartizione delle risorse non riguarda solo gli esseri umani, ma anche l'umanità nel suo insieme contro il resto della biosfera.

L'alterazione del ciclo biogeochimico dell'azoto

L'azoto è un elemento fondamentale della materia vivente. Nella sua forma molecolare N_2 è molto stabile ed è il principale componente dell'atmosfera. Fino a cento anni fa, i batteri azotofissatori, come ad esempio i batteri del genere *Rhizobium*, erano gli unici organismi viventi capaci di trasformare l'azoto molecolare (N_2) in una molecola organica, lo ione ammonio (NH_4^+). Una volta fissato nello ione ammonio, l'azoto può essere organicato in un molecola biologica vera e propria, grazie all'azione dell'enzima *glutammina sintetasi* che catalizza la trasformazione dell'acido glutammico in glutammina. L'azoto, una volta inserito nella glutammina, entra nella biosfera. E' un elemento molto prezioso per gli organismi viventi, che dipendono tutti dagli azotofissatori per avere accesso a questo elemento. Infatti a fronte di un'organizzazione che viene stimata intorno agli 80 Tg/anno (1 Teragrammo = 1 milione di tonnellate), gli organismi denunciano una perdita di questo elemento pari a 0,14 Tg/anno. Questo significa che ogni atomo di azoto viene riciclato nella biosfera 571 volte (80/0,14) prima di essere perduto in qualche pozzo geologico inaccessibile ai viventi o restituito all'atmosfera dagli organismi decompositori, i.e. i batteri denitrificatori (Volk, 1998).

Questo delicato equilibrio è stato sconvolto esattamente un secolo fa da un'invenzione umana. Nel 1910

il chimico tedesco Fritz Haber brevettò il modo per trasformare l'azoto molecolare in ammoniaca (NH_3), metodo che venne poi sviluppato su scala industriale da Carl Bosch, inizialmente per scopi bellici e successivamente come fertilizzante. L'azotofissazione sintetica via Haber-Bosch permette l'organizzazione di 187 Tg/anno di azoto. Questa enorme massa di azoto entra così ogni anno nella biosfera rendendo facilmente disponibile un elemento che prima era difficile da ottenere e conservare. Tutto ciò ha permesso un incredibile incremento delle rese agricole con lo sviluppo di fertilizzanti artificiali, ma ha anche prodotto una serie di effetti collaterali, che oggi appaiono sempre più minacciosi. L'azoto utilizzato come fertilizzante è un composto ossidato (NO_x) che nei terreni umidi acidifica il suolo e contamina le falde d'acqua potabile prima di finire dilavato, assieme alle deiezioni degli animali da allevamento, in qualche fiume. Dal fiume, l'azoto raggiunge il mare e si accumula lungo le coste dove agisce ancora come fertilizzante, questa volta di alghe tossiche e di altri organismi che crescono esponenzialmente fino a rendere anossico il ricco ambiente marino costiero, trasformandolo in una zona morta. Inoltre, in un punto qualsiasi di questa catena, i batteri possono trasformare l'azoto in protossido d'azoto, un potente gas serra capace altresì di accelerare la riduzione dell'ozono della stratosfera.

I cambiamenti climatici

Tra i tre grandi problemi ambientali globali, i cambiamenti climatici sono percepiti dall'opinione pubblica come i più gravi, sebbene essi appaiono solo al terzo posto nella graduatoria dello spazio operativo di sicurezza proposta da Rockstrom e collaboratori (2009). I cambiamenti climatici sono determinati dall'effetto serra causato dall'accumulo nell'atmosfera di gas capaci di trattenere la frequenza dell'infrarosso della luce solare, chiamati "gas serra", perché agiscono come il vetro di una serra. L'effetto è quello di un riscaldamento globale della superficie del pianeta che a sua volta determina importanti sconvolgimenti nei biomi terrestri e marini, che hanno poi ricadute diverse nei vari ecosistemi locali.

I cambiamenti climatici possono assumere forme molteplici, molte delle quali imprevedibili (IPCC, 2007). Per esempio, è aumentata la media delle temperature di superficie, ma è anche aumentata la varianza, rendendo più instabile il sistema. Di conseguenza si assiste ad un incremento di fenomeni estremi, come forti escursioni termiche, incendi, tornadi, inondazioni eccezionali. Le conseguenze dei cambiamenti climatici sono altresì più evidenti alle alte latitudini (i poli) e alle alte altitudini (montagne). In Valle d'Aosta, per esempio, stiamo osservando da tempo una riduzione del numero degli stambecchi, specie simbolo del Parco Nazionale del

Gran Paradiso. Nel 1993 la popolazione degli stambecchi aveva raggiunto la massima espansione sfiorando per la prima volta i 5.000 capi. Da quel momento la popolazione si è quasi dimezzata, ma il dato che maggiormente preoccupa è che la sopravvivenza invernale dei capretti è fortemente diminuita passando da circa il 70% (percentuale di capretti che arrivano al primo anno di vita) dei primi anni '80 al 25% del 2006. Gli studi condotti dai veterinari e dai biologi del Parco hanno portato ad una conclusione sconcertante. L'aumento della temperatura media di superficie ha provocato un cambiamento del microclima che ha ridotto il periodo di copertura nevosa in altitudine. Di conseguenza la vegetazione alpina anticipa la stagione di crescita e di massimo contenuto energetico. Al momento della nascita dei capretti a fine giugno, le madri di stambecco si trovano a consumare un alimento di minore digeribilità e minore contenuto energetico. La perdita della sincronizzazione tra lo stato vegetativo dei pascoli e le nascite dei capretti ha come conseguenza una diminuzione della quantità e della qualità del latte prodotto dalla madri per i propri capretti e $\frac{3}{4}$ di questi non riesce a superare il primo inverno (Pettorelli, 2007).

L'alterazione del ciclo biogeochimico del carbonio

Il principale gas serra è noto a tutti: il biossido di carbonio o anidride carbonica (CO_2). Altrettanto note sono le cause dell'accumulo nell'atmosfera della CO_2 : l'ossidazione di combustibili fossili. Ma spesso la conoscenza della questione presso il grande pubblico si ferma qui. Proviamo invece ad approfondire il problema a partire dall'aggettivo "fossili". I combustibili di cui parliamo sono infatti idrocarburi e derivano dal seppellimento di materiale organico avvenuta centinaia di milioni di anni fa. Tutto il carbonio che costituisce la materia vivente deriva da anidride carbonica che è stata organicata nel processo di fotosintesi clorofilliana. Quindi il primo processo da considerare nel ciclo del carbonio è la fotosintesi clorofilliana che, grazie all'energia luminosa del sole, trasforma sei molecole di anidride carbonica (6 CO_2) e sei molecole d'acqua ($6 \text{ H}_2\text{O}$) in una molecola di glucosio ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) e sei molecole di ossigeno molecolare (6 O_2). La fotosintesi clorofilliana tende quindi a ridurre la concentrazione atmosferica di anidride carbonica ($[\text{CO}_2]_{\text{atm}}$). Il processo opposto alla fotosintesi clorofilliana, che garantisce quindi l'equilibrio dinamico del ciclo del carbonio, è la respirazione. Nella respirazione la materia organica, convenzionalmente il glucosio ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), viene ossidato da sei molecole di ossigeno (6 O_2) per liberare energia. I prodotti della reazione di ossidazione sono sei molecole di anidride

carbonica (6 CO_2) e sei molecole d'acqua ($6 \text{ H}_2\text{O}$). E il ciclo può ricominciare. Se però la materia vivente, dopo la morte dell'organismo, finisce seppellita in qualche pozzo geologico, l'anidride carbonica da cui è stata generata viene sottratta al ciclo del carbonio, il bilancio netto è di una riduzione della $[\text{CO}_2]_{\text{atm}}$. I combustibili "fossili" quindi altro non sono che materia organica (ovvero CO_2) che è temporaneamente uscita dal ciclo del carbonio e che noi, utilizzatori di macchine che funzionano con questi combustibili, stiamo di nuovo immettendo nell'atmosfera ad un ritmo però molto veloce. Nell'ultimo secolo la $[\text{CO}_2]_{\text{atm}}$ è aumentata di 2 ppmv (parti per milione in volume) ogni anno, oltre 20.000 volte più *velocemente* che in qualsiasi altro momento nell'Era Cenozoica. Il problema quindi non è tanto che i combustibili fossili rientrano nel ciclo del carbonio, quanto il ritmo con cui questo avviene. Un ritmo così veloce da aver innescato un riscaldamento globale che sta alterando le dinamiche climatiche dell'intero pianeta.

Che cosa possiamo fare?

La prima cosa da fare è sicuramente ripristinare l'equilibrio dei cicli biogeochimici del carbonio e dell'azoto. Nel loro studio, Rockstrom e collaboratori (2009) pongono un limite massimo per la $[\text{CO}_2]_{\text{atm}}$ pari a 350 ppmv; per l'azoto molecolare (N_2) che può essere fissato per uso umano pari a 35 Tg/anno. Attualmente questi limiti sono ampiamente superati: la $[\text{CO}_2]_{\text{atm}}$ è pari a 389 ppmv; l' N_2 fissato per uso umano è pari a 121 Tg/anno (Tavola 1). Per raggiungere questi obiettivi sono a disposizione diverse soluzioni, ma occorre la determinazione morale e politica per volerli perseguire.

MITIGARE I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il cambiamento climatico innescato dall'effetto serra è qui per rimanerci. Anche se da oggi si arrestassero

Processo di Gaia	parametro	limite oggi		Era preindustriale
Perdita della biodiversità	Tasso di estinzione (n. di specie per milione per anno)	10	>100	0,1
Ciclo dell'azoto	Quantità di N_2 rimosso dall'atmosfera per uso umano (Tg/anno)	35	121	0
Cambiamento climatico	$[\text{CO}_2]_{\text{atm}}$ (ppmv)	350	387	280

Fonte: Rockstrom *et al.* (2009) NATURE 461, 472-475 (modificato)

totalmente le emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera, quella che è attualmente presente è più che sufficiente per generare un riscaldamento globale del pianeta sconvolgendone il clima. Diventa quindi assolutamente urgente eliminare prima possibile i combustibili fossili come fonti di energia. Eliminarli siamo

tutti d'accordo, ma con cosa possiamo sostituirli? Secondo un recente studio condotto da Jacobson e Delucchi (2009), è possibile farlo con mix di fonti energetiche alternative: il vento, il sole e l'acqua. La potenza espressa da queste tre fonti energetiche alternative è enorme: quella eolica è pari a 1.700 TW (1 Terawatt = 1 miliardo di kilowatt), mentre quella solare che raggiunge la Terra è pari a 6.500 TW. Con le attuali tecnologie è possibile intercettare solo una frazione di questa potenza: 2 TW dall'acqua; da 40 a 85 TW dal vento e 580 TW dal Sole: in tutto da un minimo di 622 TW a un massimo 667 TW. Ma non è assolutamente necessario intercettare tutta questa potenza. La domanda di energia attuale mondiale richiede infatti una potenza pari a 12,5 TW. Stimando una crescita della richiesta di energia pari a 16,9 TW, dovuta al prevedibile aumento della popolazione e all'incremento della frazione della popolazione mondiale che avrà accesso ai beni e ai servizi secondo gli standard occidentali, possiamo concludere che questo non è un pianeta in penuria energetica. Jacobson e Delucchi (2009) suggeriscono di installare impianti per ottenere da queste fonti energetiche entro il 2030 una potenza di 11,2 TW (1), così suddivisa: 5,8 TW da turbine eoliche e convertitori d'onda; 4,6 TW da sistemi fotovoltaici per tetti, impianti solari a concentrazione e parchi solari fotovoltaici; 1,1 TW da turbine marine, impianti geotermici e impianti idroelettrici.

RIPENSARE L'AGRICOLTURA

L' N_2 fissato per uso umano è destinato quasi esclusivamente all'agricoltura. La disponibilità di azoto sintetico utilizzato come fertilizzante ha permesso l'enorme sviluppo dell'agricoltura e di nutrire adeguatamente ogni giorno 6 miliardi di persone. Tuttavia, nei paesi più poveri, è spesso la mancata disponibilità di azoto sintetico che rende le coltivazioni poco redditizie. I fertilizzanti a basso costo sono necessari per offrire a queste popolazioni una via d'uscita dal circolo vizioso di povertà-malnutrizione.

Ma qual è *oggi* il compito dell'agricoltura? Un dato su tutti: il 60% dei raccolti negli USA e nell'UE diventa mangime destinato agli allevamenti. Ma gli animali, specie quelli di taglia più grande, sono dei pessimi convertitori di energia e dei veri colabrodo dal punto di vista dell'azoto. Prendiamo il pollo ad esempio, che è considerato il metodo più avanzato per produrre carne. Il pollame nutrito con una dieta bilanciata e in perfette condizioni climatiche ha bisogno come minimo di 2,2 kg di cibo per ottenere 1 Kg di peso. Tuttavia solo il 55% del peso di un pollo è commestibile. Perciò occorrono 4 Kg di cibo per ricavarne 1 Kg di pollo. L'alimentazione di pollo è un misto di cereali (principalmente mais) da cui l'animale ricava la principale fonte di carboidrati, e legumi (principalmente soia) da

cui l'animale ricava la principale fonte di proteine. Sfruttando la tecnica più diffusa di fertilizzazione e di coltivazione, questi Kg 4 di cibo necessitano di 50 g di azoto sintetico e di oltre 4.000 litri di acqua. Se passiamo ad animali di taglia superiore la situazione peggiora. Per esempio, per ottenere 1 Kg di carne di maiale bisogna nutrire l'animale con 10 Kg di cibo, che a loro volta necessitano di 125 g di azoto e oltre 10.000 litri d'acqua. Per ottenere 1 Kg di carne di bovino occorre nutrire l'animale con 15 Kg di cibo, che a loro volta necessitano di 200 g di azoto sintetico e oltre 15.000 litri di acqua. Aggiungo questi dati sull'acqua perché spesso si dimentica che l'agricoltura reclama quasi il 70% dei prelievi totali d'acqua e l'85% dei consumi, mentre l'uso domestico richiede meno del 20% dei prelievi totali d'acqua e rappresenta appena il 10% del consumo totale. Tutto il discorso sull'acqua come bene comune non può prescindere da un ripensamento globale dell'agricoltura.

Ma torniamo all'azoto. Nel mondo occidentale (UE, USA, Canada e Oceania), ogni persona consuma mediamente circa 90 Kg di carne all'anno, contro i 20-25 Kg suggeriti dai medici nutrizionisti. Calcolando una popolazione di 870 milioni di abitanti, il consumo annuo di carne è pari a 78 Tg di carne. Se questa popolazione si nutrisse esclusivamente di carne di pollo, il fabbisogno di azoto sintetico annuo sarebbe pari a 3,9 Tg/anno; 9,4 Tg/anno se si nutrisse solo di carne di maiale e 15,7 Tg/anno se si nutrisse solo di carne bovina. Approssimativamente i 78 Tg di carne consumata richiederebbero mediamente 10,5 Tg di azoto sintetico. Ma questa quota rappresenta solo l'azoto sintetico *teoricamente* necessario per ottenere 78 Tg di carne nelle migliori condizioni possibili. In realtà studi condotti nel Midwest rurale degli USA hanno dimostrato che gli agricoltori utilizzano come fertilizzante una quota di azoto sintetico che è oltre 10 volte quella necessaria. Ecco allora spiegato come più di metà dell'azoto sintetico (105 Tg su 187 Tg l'anno) venga sprecato due volte: per fertilizzare inutilmente terreni già iperfertilizzati e per ottenere un alimento, la carne, che richiede molta più energia (e acqua, e azoto) di quella che offre.

Biodiversità e intelligenza naturalistica

Proteggere la biodiversità è urgente, è possibile e nemmeno troppo costoso (Pimm 2001; Balmford, 2002; Balmford, 2004; Chivian & Bernstein, 2008). Ma proteggere la biodiversità è solo un aspetto del problema, quello forse più superficiale. Come giustamente ebbe ad osservare Lynton Caldwell, "la crisi ambientale è solo una manifestazione esteriore di una crisi della mente e dello spirito. Sarebbe un grave errore pensare che essa riguardi solo le forme di vita selvatiche minacciate di estinzione, le brutture delle produzioni artifi-

ciali, e l'inquinamento. Questi sono solo i sintomi della crisi. In realtà la crisi riguarda il tipo di creature che vogliamo diventare e che cosa dobbiamo fare per poter sopravvivere" (Caldwell, 1996).

La scarsa percezione della perdita della biodiversità dipende soprattutto dal fatto che le comunità umane hanno perso -e stanno perdendo sempre più- contatto con la Natura, con Gaia (Camino e Barbiero, 2005; Louv, 2005), con ripercussioni molto profonde a livello psichico. La connessione con Gaia sembra affondare le proprie radici nella *biofilia*, l'innata tendenza degli esseri umani "a concentrare l'attenzione sulle forme di vita e su tutto ciò che le ricorda e in alcuni casi ad affiliarsi con esse emotivamente" (Wilson, 2002). La biofilia appare come un complesso di regole di apprendimento filogeneticamente adattive che regolano il nostro rapporto con il mondo naturale. Se il rapporto si affievolisce o si interrompe, la biofilia non si sviluppa e viene perduto un intero ambito della vita psichica della persona (Charles e Louv, 2009). Vi sono buone ragioni per credere che il contatto con Gaia e il fascino (*fascination*) che essa esercita nella nostra psiche (Kaplan, 2001) sia, ad esempio, fondamentale nei processi di rigenerazione dell'attenzione (Kaplan, 1995; Barbiero, 2007b) e nello sviluppo del potenziale empatico (Barbiero, 2007a) della persona.

La biofilia potrebbe così costituire la base fisiologica dell'*intelligenza naturalistica*, intesa come la capacità di prendersi cura ed agire a livello sottile con le creature viventi (Gardner, 1999): l'educazione ambientale sarebbe molto più efficace se riuscisse a trovare il modo di stimolare la biofilia nei bambini, affinché questa possa fiorire in un'intelligenza naturalistica completa e consapevole (Barbiero, 2009). Per questa ragione stiamo esplorando le potenzialità della *mindfulness* (Kabat-Zinn, 2005) come strumento per ristabilire la nostra connessione con Gaia (Kaplan, 2001; Barbiero 2007b) laddove non sia possibile o sia insufficiente il semplice immergersi in una delle sue innumerevoli epifanie che costituiscono la *wilderness*, il mondo naturale nella sua forma meno alterata dall'uomo.

Si può quindi educare le nostre facoltà mentali ad immergersi in Gaia per riscoprire, nel silenzio, l'emozione di relazionarsi con un'entità straordinaria, che desta in noi ammirazione e commozione, e a calarsi, nel silenzio del nostro *locus naturae*, per godere pienamente, ad esempio, dei "colori" dei fiori e del "verde" della clorofilla e del "bianco" delle nubi, cogliendone il significato globale (la biodiversità che deriva dalla riproduzione sessuale, l'organizzazione del carbonio e la presenza dell'acqua allo stato liquido, rispettivamente) nell'olarchia di Gaia. Forse è a questa esperienza -mistica ed estetica e, per noi oggi, anche scientifica - a cui allude Francesco d'Assisi quando ci ricorda che *sora nostra matre terra produce coloriti flori et herba*.

Passare dal parassitismo alla simbiosi mutualistica

I grandi salti evolutivisti che hanno caratterizzato la macro-evoluzione -il passaggio dai batteri (procarioti) alle cellule con nucleo e mitocondri (eucarioti), e da queste agli organismi pluricellulari (metazoi)- sono frutto di simbiosi mutualistiche (Margulis, 1998). Se la specie umana vuole sopravvivere e diventare davvero la creatura più straordinaria della biosfera, deve evolvere al più presto il proprio stile di vita, passando dal parassitismo che oggi la contraddistingue nel suo rapporto con Gaia, al commensalismo. Il *commensalismo* è una forma di convivenza dove la specie commensale utilizza le risorse senza compromettere la sopravvivenza dell'organismo ospitante (Barbiero, 2002). Un'integrazione completa della specie umana nei grandi cicli biogeochimici e con un'impronta ecologica (Wackernagel, 2002) vicina allo zero sarebbe già un grande risultato per l'umanità.

Ma ho il sospetto che Gaia ci chieda di più. Ci chieda di mettere in atto il terzo grande salto evolutivista: una simbiosi mutualistica tra la *noosfera* (l'umanità) e la *biosfera* (Gaia), dove l'umanità si assume la piena e consapevole responsabilità di rispetto delle regole, di collaborazione e di cura *per sora nostra matre terra, la quale -non dimentichiamolo!- ne sustenta et governa*.

Per riconciliarci con Gaia occorre guardare dentro noi stessi e ritrovare le risorse (*biofilia*) che occorrono per scoprire e contemplare le infinite meraviglie del mondo naturale leggendo Gaia con cuore aperto e ascoltando Gaia con mente pronta (*intelligenza naturalistica*). Abbiamo bisogno di silenzio interiore per ristabilire il contatto tra la nostra consapevolezza (*mindfulness*) con il potere rigenerante di Gaia (*fascination*). E ritrovare l'umiltà di Francesco d'Assisi di mettersi volontariamente all'ultimo posto fra tutte le creature sulla Terra.

Giuseppe Barbiero

Nota

(1) Secondo Jacobson e Delucchi (2009) il passaggio da sistemi a combustione interna, come ad esempio le automobili, che hanno un bassa efficienza, a sistemi elettrici che invece hanno un'efficienza maggiore, si tradurrà anche in una minore richiesta di potenza, che essi stimano pari a 5,8 TW.

Bibliografia

- A. Balmford *et al.* (2002) *The economic reasons for conserving wild nature* SCIENCE 297: 950-953
A. Balmford *et al.* (2004) *The worldwide costs of marine protected areas* PROCEEDING NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE USA, 101 (26): 9694-9697
G. Barbiero (2002) *Simbiosi e Apoptosi. Dal gene egoista al sacrificio del sé individuale* NATURALMENTE 15 (4): 19-25
G. Barbiero (2003) *La bomba del sesso. Il ruolo della selezione sessuale nell'evoluzione del cervello umano* NATURALMENTE 16 (4): 18-25

- G. Barbiero (2007a) *Una mente silenziosa immersa nella natura. Di silenzio in silenzio* (G. Barbiero, A. Benessia, E. Bianco, E. Camino, M. Ferrando, D.D. Freire e R. Vittori, eds.), pp. 23-56. Anima Mundi, Cesena
- G. Barbiero et al. (2007b) *Svelare la biofilia nei bambini attraverso l'active silence training: un approccio sperimentale* CULTURE DELLA SOSTENIBILITÀ, 2, 99-109
- G. Barbiero (2009) *Revealing children's biophilia* SCIENCE, SOCIETY AND SUSTAINABILITY: EDUCATION AND EMPOWERMENT FOR AN UNCERTAIN WORLD (D. Gray, L. Colucci Gray e E. Camino, eds.), pp. 181-184. Routledge, Milton Park, UK.
- L. K. Caldwell (1996) *International environmental policy: from the twentieth to the twenty-first century*. 3d ed. With P.S. Weiland, p. 10. Duke University Press, Durham, NC
- E. Camino, G. Barbiero (2005) *Connessioni, reti da svelare, trame da tessere per un cammino verso la sostenibilità* PER UNA ECOLOGIA DELL'EDUCAZIONE AMBIENTALE (eds. E. Falchetti, S. Caravita), pp. 101-112. Edizioni Scholé Futuro, Torino
- C. Charles, R. Louv (2009) *Children's Nature Deficit: What We Know and Don't Know* CHILDREN AND NATURE NETWORK, september 2009, pp. 1-32. Retrieved October 18th, 2010 from <http://www.childrenandnature.org/downloads/CNNEvidenceoftheDeficit.pdf>
- E. Chivian, A. Bernstein (2008) *Sustaining Life. How Human Health Depends on Biodiversity* New York, Oxford University Press
- H. Gardner (1999) *Intelligence Reframed* New York, Basic Books
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge, UK and New York, NY, Cambridge University Press
- M. Z. Jacobson, M. A. Delucchi (2009) *A path to sustainable energy by 2030* SCIENTIFIC AMERICAN, november 2009: 58-65
- J. Kabat-Zinn (2005) *Coming to our senses* New York, Hyperion (Trad. it.: *Riprendere i sensi* Corbaccio, Milano, 2006)
- S. Kaplan (1995) *The restorative effects of nature: Toward an integrative framework* JOURNAL OF ENVIRONMENTAL PSYCHOLOGY, 15, 169-182
- S. Kaplan (2001) *Meditation, restoration and the management of mental fatigue* ENVIRONMENT AND BEHAVIOUR, 33 (4), 480-506
- R. Louv (2005) *Last Child in the Wood* Chapel Hill, NC, Algonquin Books (Trad. it. *L'ultimo bambino dei boschi*. Rizzoli, Milano, 2006)
- L. Margulis (1998) *Symbiotic Planet* New York, Basic Books
- G. Miller (2000) *The Mating Mind* London, William Heinemann (Trad. it.: *Uomini, donne e code di pavone* Einaudi, Torino, 2002)
- N. Pettorelli et al. (2007) *Early onset of vegetation growth vs. rapid green-up: impacts on juvenile mountain ungulates* ECOLOGY 88: 381-390
- S. L. Pimm et al (2001) *Can We Defy Nature's End?* SCIENCE 293: 2207-2208
- J. Rockström et al. (2009) *A safe operating space for humanity* NATURE, 461, 472-475
- A. R. Townsend, R. W. Howarth (2010) *Fixing the Global Nitrogen Problem* SCIENTIFIC AMERICAN, february 2010: 64-71
- T. Volk (1998) *Gaia's body* Copernicus, New York (Trad. it.: *Il corpo di Gaia* UTET Libreria, Torino, 2001)
- M. Wackernagel et al. (2002) *Tracking the ecological overshoot of the human economy* PROCEEDING NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE USA 99 (14): 9266-9271
- E. O. Wilson (2002) *The Future of Life* A. A. Knopf, New York
- E. O. Wilson (2006) *The Creation* W.W. Norton and Company, New York (Trad. it.: *La Creazione*, Adelphi, Milano, 2008)

Ringraziamenti

Un ringraziamento di cuore va ad Elena Camino, Elsa Bianco e Rita Berto per le innumerevoli loro riflessioni e intuizioni che hanno ispirato molte delle idee contenute in questo saggio. Questo lavoro è stato realizzato con il contributo del fondo di ricerca personale a titolo di incentivo erogato dall'Università della Valle d'Aosta per il "Programma di educazione alla sostenibilità".



