

DECRESCITA: il punto di vista della biologia

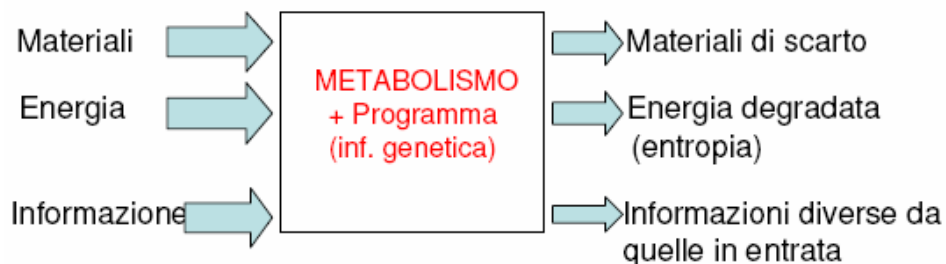
Gianni Tamino

Il flusso di materia, energia, informazione negli organismi viventi

Gli organismi viventi sono costituiti da strutture che rispondono alle leggi chimico-fisiche, ma presentano caratteristiche qualitative, frutto della particolare associazione delle molecole e delle particolari reazioni possibili grazie a queste molecole (metabolismo), che non permettono né di ridurre la biologia ad una branca della chimica o della fisica né di equiparare un organismo vivente ad alcuna delle macchine costruite dall'uomo, che sono realizzate secondo un preciso scopo al quale le loro parti sono vincolate, mentre gli esseri viventi si evolvono ed acquisiscono la loro funzionalità senza una pianificazione preordinata. In altre parole possiamo dire che la materia vivente, pur rispettando le leggi della fisica e della chimica, raggiunge un livello organizzativo e funzionale specifico, ad alta complessità, che non è spiegabile solo con la conoscenza delle proprietà dei suoi componenti più semplici. Ciò non significa immaginare qualche 'spirito vitale', come vorrebbero i vitalisti, ma semplicemente ammettere che la materia vivente è un particolare stato della materia (come afferma Buiatti), non spiegabile solo con le leggi della fisica, come vorrebbero invece i meccanicisti; uno stato acquisito dalla materia non vivente nel corso della sua evoluzione che ha dato origine oltre tre miliardi di anni fa alle prime forme di vita sulla Terra. In altre parole, se si scompone un organismo vivente in tutte le sue parti, organi e apparati, fino al livello molecolare, possiamo analizzare le funzioni e le proprietà di queste parti, ma non riusciremo a ricomporre, a partire da queste singole parti, lo stesso organismo vivente: avremo tutt'al più un organismo morto. La differenza tra un organismo vivo ed uno morto non sta nelle proprietà dei suoi componenti, ma nelle caratteristiche dell'organismo vivente, che può essere descritto come un insieme complesso di molecole organiche, attraversato da un flusso di materiali, di energia e di informazione, come riportato nello schema seguente (tratto dal libro «L'origine della vita sulla terra» di A. Ghirelli-Magaldi e G. Tamino, 1978):

Figura 1

Rappresentazione schematica di un organismo



Questo schema mette in evidenza che gli organismi viventi devono assorbire dall'esterno materiali per nutrirsi (costruzione e ricambio delle strutture anatomiche), energia per le reazioni chimiche necessarie al proprio metabolismo e alle proprie esigenze fisiologiche (negli organismi autotrofi, come le piante, l'energia è fornita soprattutto dal sole, mentre negli eterotrofi, come gli animali, dalla scissione dei legami chimici delle molecole ingerite come cibo, in particolare

Scuola decrescita Orvinio
Tamino

zuccheri, utilizzati ovviamente anche dalle piante che li producono) e, infine, informazioni sulla situazione esterna alla quale devono adattarsi, utilizzando specifici recettori (come gli organi di senso). I materiali, l'energia e le informazioni assunte dall'ambiente esterno vengono utilizzate secondo un programma, contenuto in gran parte in una memoria informativa (la molecola di DNA), che permette il mantenimento del particolare stato dell'organismo vivente, in modo dinamico ed evolutivo (dalla nascita alla morte). Ma tutto ciò che è stato incorporato è stato quindi trasformato in qualcosa di diverso, non più utilizzabile da quell'organismo e perciò da scartare. Così vengono escreti, come scarti, materiali degradati (nel caso degli animali sotto forma di feci e urine); le molecole scartate contengono meno energia disponibile per attività biologiche e il metabolismo produce calore, ciò che equivale ad un aumento di entropia e, infine, l'organismo invia informazioni all'esterno (immagini, suoni, variazioni di calore ecc.). Tutto ciò significa che senza uno scambio continuo con l'ambiente esterno di materiali, energia e informazione, un organismo non può vivere (tutt'al più può rimanere in uno stato di latenza, di vita sospesa, come le spore di alcuni batteri) e da questa analisi dei viventi, in base allo schema dei flussi, derivano alcune importanti conseguenze.

Anzitutto i flussi di materia, energia e informazione, indicati dalle frecce, sottintendono anche un fluire, in modo irreversibile (come ha spiegato Prigogine), del tempo ed evidenziano l'interazione tra l'organismo e il suo ambiente di vita. In altre parole è impossibile comprendere un organismo vivente al di fuori del suo contesto spazio-temporale, ciò che rende irripetibile ogni situazione della vita di ciascun organismo. Perciò di un organismo vivente possiamo conoscere il suo passato (la sua storia) ma non possiamo prevedere in modo deterministico il suo futuro ed in particolare l'uomo ha sempre un margine di libertà per scegliere il suo destino. Per queste ragioni la biologia è una scienza anche storica, perché non può prescindere dal considerare il vivente o i processi biologici nel loro divenire e la principale teoria biologica è la teoria dell'evoluzione, cioè della storia dei viventi.

Inoltre un organismo isolato dal suo contesto e non più in grado di scambiare materia, energia e informazione, non è un organismo vivente, ma solo un oggetto di studio: troppo spesso un'impostazione meccanicista e riduzionista ha trasformato in 'oggetti' i soggetti viventi, non distinguendo più un insieme di molecole appartenenti ad un corpo morto da un organismo, in cui tutte le parti sono correlate tra loro e con l'ambiente di vita in modo dinamico e complesso.

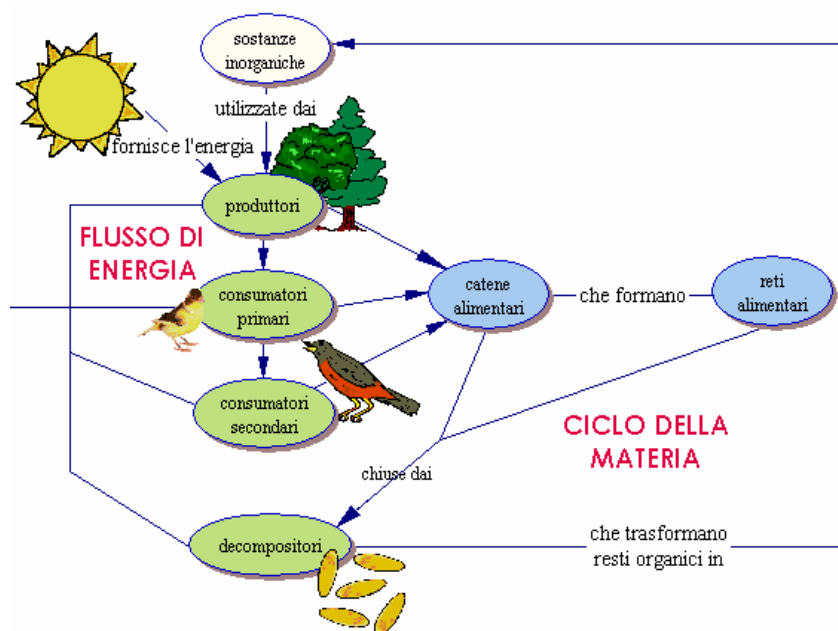
Un organismo vivente è un sistema aperto che, utilizzando energia e informazione, può ridurre l'entropia al proprio interno, aumentandola però all'esterno (questi concetti sono stati evidenziati in particolare da Von Bertalanffy, Schroedinger e Prigogine). In altre parole un organismo vivente è un sistema complesso molto instabile, la cui probabilità di durare nel tempo, cioè di continuare a vivere, seppure limitata dalle leggi della termodinamica, che lo vorrebbero trasformare in un sistema più stabile, a maggior livello di entropia (cioè morto), è data dalla capacità di assorbire materia, energia e informazione dall'esterno, per potersi continuamente rinnovare ed evolvere ("assimilazione costruttiva", secondo la definizione di M. Rizzotti), senza tuttavia evitare di invecchiare. E' pur sempre una durata limitata, visto che l'unica certezza di un vivente è la sua morte (anche se non è prevedibile quando, come e dove avverrà), tuttavia sufficiente di solito alla sua riproduzione, mantenendo nel tempo lo stato vivente della materia e rendendo teoricamente immortale la popolazione, costituita di organismi necessariamente mortali.

D'altra parte se consideriamo, a un livello ecologico, anziché l'individuo le popolazioni e gli ecosistemi, vedremo che anch'essi sono attraversati da un flusso di materia, energia e informazione e che interagiscono con l'ambiente circostante, composto da costituenti fisici, chimici e biologici. Anche quella parte del pianeta Terra in cui si realizzano questi scambi, queste relazioni tra organismi viventi, chiamata Biosfera, può essere interpretata come un superorganismo vivente (teoria di Gaia, ipotizzata da Lovelock), che scambia materia e soprattutto energia con l'esterno e, in particolare, riceve energia solare in grado di mantenere i

complessi equilibri (Figura 2).

Figura 2

Flussi di energia e materia negli ecosistemi



Se, poi, consideriamo una popolazione o un ecosistema nel corso della sua storia, ci possiamo anche rendere conto che concetti come ordine e disordine o rumore e informazione variano al variare del contesto e del punto di vista e, in un sistema aperto e complesso, si può ottenere ordine dal disordine, informazione dal rumore. Così l'informazione genetica contenuta nel DNA può essere alterata per effetto delle mutazioni e quindi subire un'azione entropica che ne aumenta il disordine; tuttavia è grazie a queste mutazioni che si possono avere nuove varianti nella popolazione che, al variare delle condizioni ambientali, possono essere selezionate come più idonee. Ciò significa che la selezione naturale estrae informazione dal rumore o ordine dal disordine (ma comunque l'entropia del sistema in quel momento aumenta, dato il gran numero di mutazioni negative e di individui danneggiati). In altre parole la biodiversità, indispensabile per l'adattamento, la stabilità e la complessità degli ecosistemi, è conseguenza di un'azione di selezione, simile a quella del diavoleto di Maxwell.

In generale un sistema complesso, che si autorganizza, non può essere rigido, ma deve avere in sé i meccanismi per adattarsi a nuove condizioni e deve dunque essere dotato di dispositivi in grado di ricevere dall'esterno informazioni utili per mantenere uno stato di equilibrio dinamico, attraverso circuiti di retroazione (feedback): gli organismi viventi sono quindi sottoposti ad un continuo 'aggiustamento', definito dal biologo evoluzionista Waddington «omeorresi», per indicare un equivalente dinamico (che scorre nel tempo) di «omeostasi», termine utilizzato dai fisiologi per indicare l'insieme di processi che, reagendo alle perturbazioni, tendono a ripristinare le condizioni iniziali del sistema.

Dunque, riprendendo il concetto di stato vivente, come uno degli stati possibili della materia (e, analogamente, potremmo parlare di stato pensante della materia per indicare gli organismi viventi dotati di pensiero razionale), possiamo dire che, a partire dallo schema dei flussi di

materia, energia e informazione, abbiamo individuato alcune caratteristiche che permettono di descrivere gli organismi viventi, in modo da distinguere lo stato vivente da quello non vivente, anche se una descrizione precisa della transizione da uno stato all'altro rimane ancora non ben definita.

L'approccio epistemologico dei fenomeni biologici, che ho tentato di fornire, tende a rifiutare sia la visione meccanicista che quella vitalista e può essere sintetizzata con le parole di S. J. Gould, tratte dal saggio del 1987 'Il sorriso del fenicottero': «La grande maggioranza dei biologi sostiene che la vita, come risultato della propria complessità strutturale e funzionale, non può essere risolta nei suoi costituenti chimici e spiegata nella sua interezza da leggi fisiche e chimiche, che operano a livello molecolare. Ma nega in modo altrettanto strenuo che l'insuccesso del riduzionismo indichi una qualsiasi proprietà mistica della vita, una qualche scintilla speciale che sia inerente alla vita soltanto. La vita acquisisce i propri principi dalla struttura gerarchica della natura. Man mano che i livelli di complessità salgono lungo la gerarchia dell'atomo, della molecola, del gene, della cellula, del tessuto, dell'organismo e della popolazione, compaiono nuove proprietà come risultato di interazioni e di interconnessioni che emergono ad ogni nuovo livello. Un livello superiore non può essere interamente spiegato separando gli elementi che lo compongono e interpretando le loro proprietà in assenza delle interazioni che uniscono quegli elementi. Così abbiamo bisogno di principi nuovi o emergenti per poter cogliere tutta la complessità della vita»

Cicli biogeochimici

Se si analizza il flusso di energia negli ecosistemi (Figura 2) si può verificare che quasi tutta l'energia proviene dal sole, sotto forma di fotoni, che, raggiungendo le piante, attivano il processo di fotosintesi. Grazie a una serie complessa di reazioni, si formano in tal modo, a partire da acqua e anidride carbonica, molecole organiche come gli zuccheri, veri accumulatori di energia. E' proprio l'energia contenuta nei legami chimici di queste molecole a garantire tutte le attività che richiedono energia sia nelle piante che, attraverso la catena alimentare, negli animali. Le reazioni chimiche necessarie per le diverse attività biologiche sono molteplici e danno origine al complesso metabolismo di ogni essere vivente, ma, pur producendo un po' di calore, non producono mai quelle temperature elevate, come nelle combustioni, che sarebbero incompatibili con le caratteristiche dei viventi. Infatti le cellule degli organismi viventi non sono assimilabili a macchine termiche in quanto non ricavano lavoro da gradienti di temperatura.

Nei processi metabolici finalizzati a produrre e immagazzinare energia non si libera subito tutta l'energia che si potrebbe ricavare da una diretta reazione tra i reagenti, ma si tende ad utilizzare il salto di energia disponibile, suddividendolo in vari salti più piccoli, liberando gradatamente l'energia utile per essere accumulata sotto forma di ATP (adenosintrifosfato, dalla cui idrolisi si ottiene adenosindifosfato più fosfato inorganico ed energia). Infatti un'utilizzazione diretta comporterebbe la liberazione di una quantità di energia incompatibile con le caratteristiche chimico-fisiche dei viventi, come nella combustione. Questa utilizzazione dell'energia potenziale in tanti piccoli salti avviene grazie all'informazione fornita dalla memoria genetica, il DNA, che rende possibile la produzione di specifici enzimi, a loro volta regolati da feed-back, tipici dei sistemi complessi.

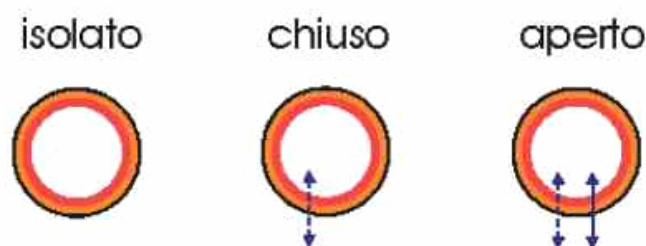
Se analizziamo bene gli ecosistemi, ci accorgiamo non solo che il flusso di energia trae origine dal sole, ma anche che i processi sono ciclici, cioè i materiali vengono continuamente riciclati, senza produzione di rifiuti, come nel caso della fotosintesi e della respirazione. Nella fotosintesi, infatti, si utilizza l'energia solare per far reagire l'acqua e l'anidride carbonica, ottenendo zuccheri e come scarto ossigeno; nella respirazione si ottiene energia ossidando gli zuccheri con l'ossigeno, ottenendo come sottoprodotti acqua e anidride carbonica: cioè i sottoprodotti di un processo sono le materie prime dell'altro. Ciò non vale solo per fotosintesi e respirazione

(cioè il ciclo del carbonio), ma anche per tutte le altre materie prime utilizzate dagli organismi viventi, nell'ambito delle catene alimentari nei diversi ecosistemi (cicli dell'azoto, del fosforo, dell'acqua).

Apparentemente questa strategia del mondo vivente sembra in contrasto con le leggi della termodinamica: si realizzerebbe un moto perpetuo (i cicli biogeochimici) e non aumenterebbe in continuazione l'entropia, cioè il disordine del sistema. Ma questo contrasto è appunto solo apparente: la Terra non è un sistema totalmente isolato perché scambia energia con l'esterno. E' invece un sistema sostanzialmente chiuso, in cui vale il principio di conservazione della massa, che può solo subire processi di trasformazione e/o trasferimento da un comparto all'altro (Figura 3).

Figura 3

*Schema di sistemi termodinamici isolato (a sinistra), chiuso (al centro) e aperto (a destra).
Un sistema isolato non ha scambi con l'ambiente, un sistema chiuso scambia energia e lavoro (- - -), un sistema aperto anche massa (—)*



Da quando esiste sulla Terra, l'intera massa di acqua degli oceani, per esempio, è evaporata, ha prodotto precipitazioni ed è ritornata nell'oceano attraverso i fiumi molte migliaia di volte (ciclo dell'acqua). E, come abbiamo visto, ossigeno, carbonio e azoto, attraverso specifici cicli, vengono continuamente riciclati all'interno del sistema, principalmente ad opera degli organismi viventi. Il "carburante" necessario per questi costanti processi di trasporto e trasformazione di materia nei vari comparti è l'energia che la Terra riceve dal Sole.

Come spiega Ilya Prigogine, in alcuni sistemi aperti si possono verificare decrementi nell'entropia dovuti ad un influsso di energia esterna: proprio come nel caso della Terra che riceve energia dal Sole. Naturalmente il "moto" dei cicli biogeochimici sul Pianeta non è "perpetuo", ma può continuare solo finché c'è il Sole e la vita sulla Terra.

Grazie a questa strategia la vita è continuata, modificandosi ed evolvendosi continuamente, fino ai nostri giorni; ma se la fonte energetica anziché esterna fosse endogena, come le fonti fossili, il blocco dei cicli e l'aumento di entropia sarebbero inevitabili, tanto più che le fonti fossili vengono utilizzate come combustibili in macchine termiche, con processi a basso rendimento energetico, per produrre calore e da questo ricavare, elettricità, forza motrice o altro.

Produzione e crescita nei sistemi biologici

Nei sistemi biologici (organismi, popolazioni ed ecosistemi) possiamo trovare varie forme di produzione e consumo. L'ecologia individua negli organismi fotosintetici (autotrofi) i produttori primari, in quanto da loro ha origine il flusso di energia e di materia e la produzione di molecole biologiche a partire da molecole inorganiche, e negli altri (eterotrofi) i consumatori, nel senso che consumano come cibo o direttamente (erbivori) o indirettamente (carnivori e decompositori)

i prodotti degli autotrofi.

La produttività primaria di un ecosistema è definita come la velocità alla quale l'energia solare viene trasformata dalla fotosintesi clorofilliana in sostanza organica. Si definisce:

- 1 produttività primaria lorda (PPL), la velocità totale di fotosintesi (detta perciò anche fotosintesi totale)
- 2 produttività primaria netta (PPN), la velocità di immagazzinamento della materia organica prodotta, al netto di quella usata dalla pianta per vivere (detta perciò anche fotosintesi apparente).

Un alto tasso di produttività primaria negli ecosistemi si ottiene quando i fattori fisici (ad es: acqua, nutrienti e clima) sono favorevoli. Anche la presenza di forme di energia secondaria può aiutare ad innalzare il tasso di produttività primaria. Un esempio è quello degli estuari, uno degli ecosistemi tra i più produttivi al mondo.

Analogamente, per capire su quale flusso di energia possa contare un determinato ecosistema, possiamo considerare e calcolare la *produzione primaria*, lorda e netta, intesa come l'energia acquisita con la fotosintesi nell'unità di tempo. Per le piante terrestri una maniera diretta è quella di misurare i cambiamenti di concentrazione di CO² nell'aria attorno alle piante. Fatti gli opportuni calcoli si può verificare che, sulla base della reazione fotosintetica, lo scambio di 72 gC (cioè 72 grammi di carbonio) equivale ad introitare 709 kcal. In tal modo si può calcolare la produzione primaria netta e la biomassa totale in un ecosistema o nella biosfera, tenendo presente che la biomassa totale è uguale al numero di individui per il peso medio dell'individuo.

Esistono diverse stime basate su compilazioni di dati di diversa fonte. La compilazione più citata è quella di Whittaker e Likens (1973), riassunta nella seguente Tabella 1.

Tabella 1: Produzione primaria netta e biomassa vegetale nei vari biomi che compongono la nostra biosfera. Le aree sono misurate in 10⁶ km², la PPN media in gC·m⁻²·anni⁻¹, la PPN totale in 10⁹ tC·anni⁻¹, la biomassa media in kgC·m⁻² e la biomassa totale in 10⁹ tC.

Scuola decrescita Orvinio
Tamino

Bioma	Area	PPN media	PPN totale	Biomassa media	Biomassa totale
Foresta pluviale tropicale	17.0	900	15.3	20	340
Foresta stagionale tropicale	7.5	675	5.1	16	120
Foresta sempreverde temperata	5.0	585	2.9	16	80
Foresta decidua temperata	7.0	540	3.8	13.5	95
Foresta boreale	12.0	360	4.3	9.0	108
Boscaglia	8.0	270	2.2	2.7	22
Savana	15.0	315	4.7	1.8	27
Prateria temperata	9.0	225	2.0	0.7	6.3
Tundra e pascolo alpino	8.0	65	0.5	0.3	2.4
Deserto	18.0	32	0.6	0.3	5.4
Roccia, ghiaccio e sabbia	24.0	1.5	0.04	0.01	0.2
Terreno coltivato	14.0	290	4.1	0.5	7.0
Palude	2.0	1125	2.2	6.8	13.6
Laghi e acque correnti	2.5	225	0.6	0.01	0.02
Totale terraferma	149	324	48.3	5.55	827
Oceano aperto	332.0	57	18.9	0.0014	0.46
Acque di risalita (upwelling)	0.4	225	0.1	0.01	0.004
Piattaforma continentale	26.6	162	4.3	0.005	0.13
Letti algali e scogliere	0.6	900	0.5	0.9	0.54
Estuari	1.4	810	1.1	0.45	0.63
Totale mare	361	69	24.9	0.0049	1.76
Totale generale	510	144	73.2	1.63	829

Come si può notare la PPN globale si aggira sui 70×10^{15} gC anno⁻¹, mentre la biomassa totale vegetale è stimata in più di 800×10^{15} gC. Stime più recenti (Olson et al., 1983) danno valori più bassi per quanto riguarda la biomassa delle piante terrestri (che costituiscono comunque la quasi totalità della biomassa vegetale): 560×10^{15} gC. È interessante notare come la produzione primaria netta per unità di area negli ecosistemi marini è decisamente inferiore a quella degli ecosistemi terrestri, ma, a causa della maggiore estensione dei mari rispetto alla terraferma, la PPN totale è la metà di quella degli ecosistemi terrestri. Tale PPN, come già fatto osservare, è poi ottenuta con una biomassa che è circa lo 0.2% di quella delle piante terrestri.

Ma, alla luce di questi dati, la domanda che ci dobbiamo porre è: possono la produzione primaria e la biomassa totale crescere illimitatamente negli ecosistemi e nella biosfera? La risposta è chiaramente no, dato che la produttività e quindi anche la biomassa dipendono dalla fotosintesi, che a sua volta dipende dall'energia solare che raggiunge il pianeta (che può essere considerata costante). Unico modo per aumentare la produttività sarebbe un sistema più efficiente di fotosintesi, ma, dato che questo sistema è il frutto di oltre 2 miliardi di anni di evoluzione, dobbiamo ritenerlo comunque valido dal punto di vista biologico-ecologico, anche se non particolarmente efficiente. Infatti l'efficienza delle piante nel catturare l'energia solare è estremamente bassa, come permette di appurare un calcolo approssimativo. Ogni anno la radiazione solare nelle lunghezze d'onda corte, cioè quelle sfruttabili dalle piante, che raggiunge la superficie terrestre, inclusi gli oceani, è di circa 3×10^{24} J (Harte, 1985). Dalla Tabella 1 risulta che la PPN totale annuale è di 73×10^{15} gC. Come già detto, lo scambio di 72 gC corrisponde a $709 \text{ kcal} = 4.18 \times 10^6 \text{ J}$ (1 cal equivale a 4.18 J) e perciò con facili calcoli si ottiene che la PPN totale annuale è di 3×10^{21} J. Ne viene quindi che solo un millesimo della radiazione

incidente utile è accumulato nella biomassa delle piante. Naturalmente una certa parte della radiazione solare viene a cadere su zone prive di vegetazione, ma nonostante questo la percentuale di energia solare catturata dalle piante rimane comunque molto bassa (dati tratti da: *Marino Gatto e Renato Casagrandi (2006) Dispense del corso di Ecologia*, nel sito <http://olmo.elet.polimi.it/ecologia/dispensa/node22.html>).

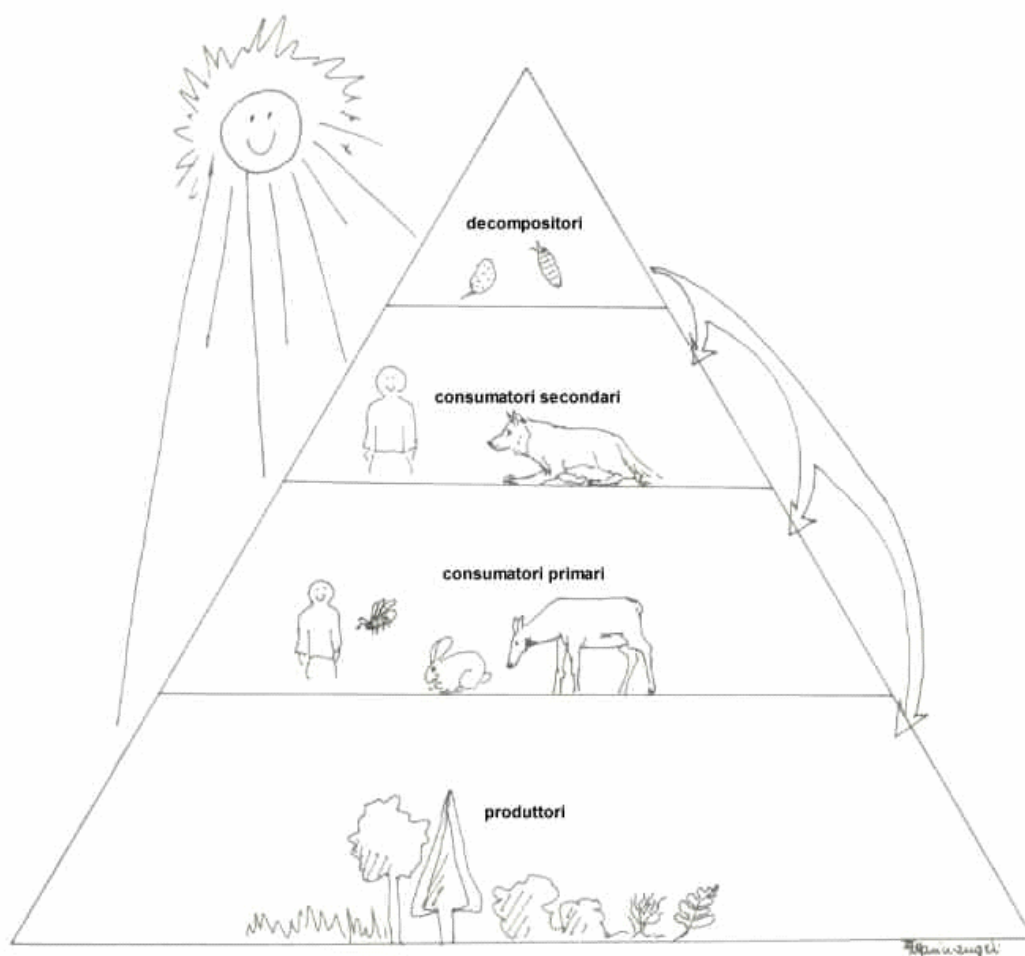
Queste considerazioni sono trasferibile all'agricoltura e alla produzione di cibo.

Per quanto si pensi di poter aumentare la quantità di fertilizzanti ed eventualmente di acqua nei campi coltivati, un limite alla loro produttività è dato dalla capacità fotosintetica delle piante e quindi, a parità di superficie e di specie coltivata, incrementi di produttività possono essere ottenuti dapprima ricorrendo ad altre fonti di energia (una volta umana o animale, oggi di origine fossile), ma all'aumentare degli input non si ha un corrispondente aumento di produttività. Così rischiamo di andare incontro a gravi carestie sia a causa della riduzione di superficie agricola coltivata all'aumentare della popolazione, sia a causa del minor apporto di energia fossile all'attuale agricoltura, conseguente alla riduzione di petrolio disponibile. Infatti l'agricoltura industrializzata è petrolio-dipendente: tra fertilizzanti, pesticidi, macchinari, irrigazione ecc. la quantità di energia fossile aggiunta è uguale o superiore all'energia solare utilizzata, come spiegano bene Giampietro e Pimentel. La soluzione sta nell'evitare la cementificazione del territorio e la sostituzione di terreno agricolo con aree industriali e commerciali da una parte e dall'altra di favorire un'agricoltura che, senza ricorso a energia di origine fossile, produca cibo per le popolazioni locali, come avviene per l'agricoltura biologica.

Altrettanto grave è la tendenza dei paesi più ricchi ad aumentare i consumi di prodotti di origine animale, carne in particolar modo. Come abbiamo visto, gli erbivori, nutrendosi dei vegetali, ne assumono le sostanze organiche e le metabolizzano, cioè le trasformano in altre sostanze organiche adatte ad essere utilizzate per tutte le funzioni vitali e come materiale strutturale per il loro accrescimento. Analogamente, si comportano gli animali carnivori, nutrendosi di altri animali. Il processo continua così da una categoria di organismi all'altra. Ma, per ragioni termodinamiche, il trasferimento di energia attraverso la catena alimentare è accompagnato da perdite sotto forma di calore dissipato nell'ambiente. Ciò significa che nel nutrimento dei carnivori sarà disponibile meno energia di quanta è a disposizione degli erbivori, che a loro volta ricevono dal loro nutrimento meno energia di quanta ne venga utilizzata dalle piante. Altrettanto vale per la biomassa (vedi figura 4, piramide trofica) e la conseguenza è che se si mangia carne di animali alimentati al pascolo si sottrae terreno per la produzione di vegetali commestibili (cereali, legumi, ecc.), mentre se si mangia carne di animali alimentati direttamente con cereali e legumi (soia e mais), ogni porzione di carne corrisponde a circa otto porzioni di cereali e legumi. Sei miliardi di abitanti possono essere sfamati solo con una dieta prevalentemente vegetariana, altrimenti, per garantire a tutti una dieta carnivora come quella di statunitensi o tedeschi occorrerebbero alcuni pianeti Terra; in alternativa pochi mangiano e altri patiscono la fame.

Figura 4. La piramide ecologica: ad ogni livello trofico corrisponde una minore disponibilità di energia e conseguentemente minore è la biomassa.

Scuola decrescita Orvinio
Tamino



Per le ragioni sopra esposte popolazioni ed ecosistemi possono crescere in una fase espansiva, dovuta a nuova colonizzazione e scarso sfruttamento di risorse, ma alla fine raggiungeranno un equilibrio, imposto dai fattori limitanti ambientali (disponibilità di superficie, di acqua, di sole, di nutrienti ecc.). Infatti la crescita può al massimo arrivare al limite della "capacità portante" (in inglese "carrying capacity") di un dato ambiente, cioè fino al massimo numero di individui la cui presenza un ambiente può accogliere, sopportare, sfamare. Ma come ricorda Giorgio Nebbia (Liberazione del 5/8/06) in un ambiente di dimensioni limitate, nel quale si accumulano le scorie del metabolismo degli individui di una popolazione, il numero di individui, dopo aver raggiunto un massimo, declina fino all'estinzione della popolazione. In realtà di solito questo non succede perchè ogni popolazione di una specie interagisce con popolazioni di altre specie, creando complesse reti trofiche e complessi cicli biogeochimici che possono ricostituire le condizioni di sostentamento di un adeguato numero di individui (al massimo quello della capacità portante).

In sintesi una popolazione o un ecosistema possono dapprima crescere, raggiungere un valore massimo e rimanere più o meno costanti o decrescere, mai comunque crescere illimitatamente. La possibilità di rimanere in uno stato stazionario vicini al massimo della capacità portante è in ogni caso molto improbabile; moltissime perturbazioni interne o esterne alla popolazione

possono influenzare le dimensioni della popolazione stessa: clima, variazioni genetiche della popolazione (mutazioni e selezione), malattie, in particolare parassiti (che determinano una classica interazione tra parassita e parassitato, che può tendere a sua volta ad un equilibrio), predatori o prede (a seconda della specie).

Consideriamo a questo proposito una popolazione di erbivori e immaginiamo pochi erbivori migrati in un'area di pascolo: cresceranno fintanto che l'ambiente fornirà loro cibo, poi la popolazione si stabilizzerà su un numero di individui compatibili con il ripristino delle risorse dell'area. Ma se nella stessa area vi sono altri erbivori, oltre alle ridotte disponibilità di cibo si dovrà fare i conti con eventuali forme di competizione e se, poi, vi sono dei carnivori si instaurerà una classica relazione "preda predatore", in cui ad un picco di carnivori ed un minimo di erbivori si alternerà un minimo di carnivori (a causa della ridotta disponibilità di cibo) ed un picco di erbivori (per la ridotta predazione). Ma se si verifica una siccità che riduce il pascolo, seguirà una decrescita sia di erbivori che poi di carnivori.

Interazione tra sistemi biologici e produzioni umane

I sistemi naturali, come abbiamo visto, sono basati sull'utilizzo di energia solare (fotoni che giungono alle piante) e su un flusso di energia derivata da una graduale rottura di legami chimici e non da combustioni, su un flusso di materia che viene trasformata e riciclata, senza produzione di rifiuti, e sull'utilizzo di informazioni (genetiche e non).

Nelle attività industriali invece l'energia viene ricavata per la maggior parte da reazioni di combustione, utilizzando combustibili fossili. Il calore prodotto o viene trasformato in energia elettrica per l'uso a distanza, o utilizzato direttamente in macchine termiche, come nel motore a scoppio. Ma gran parte dell'energia che si trasforma in calore non è più disponibile per compiere lavoro utile.

Per lungo tempo l'uomo si è limitato ad utilizzare il fuoco per scaldarsi, cucinare, tenere lontani gli animali pericolosi o ad uso bellico. Solo recentemente, con la rivoluzione industriale, la combustione, soprattutto di combustibili fossili (prima il carbone, poi petrolio e metano), è diventata il principale mezzo per produrre l'energia necessaria per le più svariate attività: produzione di calore, di energia elettrica o per trazione, ad esempio nei veicoli con motore a scoppio.

La combustione è un processo complesso che inevitabilmente trasforma i combustibili in un gran numero di nuovi composti, alcuni aeriformi, alcuni solidi, che determinano rifiuti e inquinamento, cioè ulteriore entropia. Senza dubbio i combustibili fossili hanno fornito l'energia indispensabile per l'industrializzazione ed hanno dato un impulso allo sviluppo dell'economia mai visto prima. Essi, però, sono una risorsa esauribile e re-immettono nell'atmosfera il carbonio sottratto dai vegetali milioni di anni fa, insieme a varie sostanze tossiche e nocive per la salute degli esseri viventi. La loro combustione modifica la composizione dell'atmosfera. Per avere un'idea di quanto la combustione inquina basti pensare che il tabacco di una sigaretta, bruciando, produce un cocktail di oltre 3800 prodotti di combustione finora identificati, molti ad azione cancerogena, e comunque tossica. Ciò vale per la maggior parte dei combustibili, dalla biomassa (come il tabacco), al carbone, al petrolio o peggio ai rifiuti. Ma oltre agli inquinanti pericolosi per la salute e per l'ambiente, derivati dal fatto di bruciare un combustibile, si producono anche pericolosi ossidi d'azoto, dato che l'aria contiene soprattutto quest'ultimo gas, in grado ad alte temperature di reagire con l'ossigeno.

E come non bastasse, per effetto dei bassi rendimenti della combustione, trasformando l'energia termica in energia elettrica si recupera solo il 30-40% dell'energia contenuta nei combustibili. Detraendo da questa l'energia consumata per l'estrazione, nella costruzione della

Scuola decrescita Orvinio
Tamino

centrale, nella gestione e nei trasporti dell'energia, questo valore si abbassa a circa il 10%. Il rischio è di rimanere senza combustibili e contemporaneamente avere irreversibilmente alterato il Pianeta e compromesso la salute dei suoi abitanti.

La via d'uscita sta nello studio e nell'utilizzo dei processi che hanno permesso agli organismi terrestri di continuare a vivere per tutto questo tempo: anzitutto utilizzare come fonte di energia il Sole o comunque fonti di energia rinnovabili, derivate dal Sole (acqua, vento, ecc.), utilizzare processi produttivi ciclici, senza produzione di rifiuti e poi evitare le combustioni.

Attualmente si può ottenere senza combustioni energia termica dal sole e da pompe di calore (caldo e freddo) ed energia elettrica dai salti di acqua (energia idroelettrica), dal sole (energia fotovoltaica), dal vento (energia eolica), ma anche da idrogeno (che non è una fonte ma un mezzo per accumulare e trasportare energia, ovviamente da fonti rinnovabili), attraverso le celle a combustibile, che sono dei generatori elettrochimici in cui l'energia elettrica è prodotta dalla reazione tra l'idrogeno e l'ossigeno o l'aria. Insieme all'elettricità, vengono prodotti anche calore e acqua e vi sono celle a combustibile che, per il calore prodotto, si prestano ad una cogenerazione di energia elettrica e calore, senza combustione.

Ai difensori del petrolio o dell'energia nucleare, i quali affermano che il Sole e i suoi derivati sarebbero insufficienti a garantire gli attuali consumi di energia, va risposto che da una parte l'attuale consumo è eccessivo e basato sulla logica degli sprechi (tanto più che il rendimento finale è molto basso e le fonti sono esauribili), dall'altra che il sole, pur essendo utilizzato con una percentuale inferiore dell'1% dalle piante, garantisce un quantità e diversità di biomassa naturale, che è ben maggiore dell'insieme dei prodotti industriali umani.

In soli due secoli l'uomo ha radicalmente modificato il flusso di energia sul pianeta, bruciando combustibili fossili che si erano accumulati nel corso di molti milioni di anni e sta accumulando quantità crescenti di rifiuti e di inquinanti incompatibili con i cicli biogeochimici. Occorre voltar pagina al più presto, occorre un cambiamento concettuale nel mondo scientifico ed economico.

La visione meccanicista e riduzionista, che pure ha garantito notevoli progressi tecnologici, era funzionale ad una società nata dalla rivoluzione industriale e dall'illuminismo, che considerava come scopo principale della scienza e della tecnologia quello di fornire all'uomo strumenti per dominare e sottomettere la natura. Questa visione, divenuta ideologia del sistema produttivo liberista, riduce a merce ogni risorsa naturale, comprese quelle ritenute patrimonio comune, come l'acqua che beviamo, fino agli stessi organismi viventi, uomo compreso. Questa ideologia porta a credere che la tecnica sia in grado di risolvere ogni problema, sia ambientale che sanitario, in un ambiente dove energia e materie prime sono ritenute sempre disponibili, praticamente infinite. C'è in tutto ciò un irrazionale e irresponsabile ottimismo, che fa ritenere credibile una crescita continua della produzione industriale e che porta a pensare che qualunque effetto negativo questa produzione possa arrecare all'ambiente o alla salute umana, può essere risolto dalla scienza e dalla tecnica. Nell'impostazione meccanicista non c'è spazio per la prevenzione e per la precauzione, ma solo per interventi mirati a curare i danni avvenuti (inquinamenti, malattie, ecc.), interventi che richiedono nuove produzioni e nuovi consumi e che fanno crescere il PIL, unico vero parametro preso in considerazione dall'economia liberista, frutto di questa ideologia riduzionista.

A questa visione della natura occorre contrapporre una nuova. L'uomo non è né padrone né schiavo della natura, ma come essere vivente, e perciò naturale, deve interagire con il suo ambiente, anche modificandolo, ma, come essere pensante e quindi responsabile delle proprie azioni, deve rispettarne le regole e i criteri, come, ad esempio, i cicli biogeochimici, che permettono un uso razionale delle risorse. Come affermano Prigogine e Stengers (nel saggio "La nuova alleanza") la nuova epistemologia deve passare da una conoscenza manipolatrice della natura, che seleziona e semplifica i sistemi oggetto di studio ad una conoscenza volta ad approfondire l'intreccio complesso di connessioni tra i diversi sistemi, alla luce della coordinata

tempo: «Nella storia naturale diventa impossibile evitare di prendere in considerazione il tempo..... devono essere determinati i pesi rispettivi della memoria ereditaria, dell'apprendimento e delle circostanze. La possibilità, in particolare per un individuo, di avere una memoria, delle interazioni sociali differenziate, dei comportamenti flessibili e adattati alle circostanze mutevoli, viene a determinarsi all'incrocio dei tempi che lo costituiscono, tempo della specie, tempo dell'ontogenesi, tempo dell'apprendimento e della socializzazione, tempo culturale, tempo dell'esperienza quotidiana». Alla rozza semplificazione dei fenomeni naturali a fenomeni meccanici, bisogna sostituire una analisi della complessità dei sistemi, interagenti tra loro; nei complessi sistemi viventi a parametri come materia ed energia dobbiamo aggiungere quello dell'informazione, che varia al variare del sistema di riferimento, evidenziando la necessità di correlare la conoscenza dei fenomeni al punto di osservazione, comunque parziale e relativo. Ma soprattutto dobbiamo considerare l'irreversibilità dei fenomeni temporali, ciò che porta a riconoscere la storicità di una epistemologia naturale. Questa epistemologia naturale è una necessaria premessa per una società sostenibile, in cui le attività umane «non riducano a merce ogni bene materiale ed immateriale», come afferma M. Cini, ma sappiano inserirsi nei complessi e delicati equilibri dinamici, presenti nell'ambiente naturale, senza distruggerli, senza trasformare le risorse in rifiuti, senza ridurre la biodiversità degli organismi viventi, in altre parole, senza accelerare l'aumento di entropia del pianeta. Come osservava oltre dieci anni fa A. Langer: «Ci troviamo al bivio tra due scelte alternative: tentare di perfezionare e prolungare la via dello sviluppo, cercando di fronteggiare con più raffinate tecniche di dominio della natura e degli uomini le contraddizioni sempre più gravi che emergono (basti pensare all'attuale scontro sul petrolio) o invece tentare di congedarci dalla corsa verso il 'più grande, più alto, più forte, più veloce' chiamata sviluppo per rielaborare gli elementi di una civiltà più 'moderata' (più frugale, forse, più semplice, meno avida) e più tollerante nel suo impatto verso la natura, verso i settori poveri dell'umanità, verso le future generazioni e verso la stessa 'biodiversità' (anche culturale) degli esseri viventi.» E sempre Langer osservava che quest'ultima è un'utopia 'concreta', mentre la crescita illimitata, basata sul 'sempre più veloce e sempre più grande', è una pericolosa illusione, comunque irrealizzabile.

Bibliografia

- Bonaiuti M, 2001, *La teoria bioeconomica*, Carocci
- Buiatti M, 2000, *Lo stato vivente della materia*, UTET
- Cini M, 2001, *Dialoghi di un cattivo maestro*, Bollati Boringhieri
- Georgescu-Roegen N, 2003, *Bioeconomia. Verso un'altra economia ecologicamente e socialmente sostenibile*, (a cura di Mauro Bonaiuti), Bollati Boringhieri
- Giampietro M, Pimentel D, 1993, *The Tightening Conflict: Population, Energy Use, and the Ecology of Agriculture*, Negative Population Growth
- Ghirelli Magaldi A, Tamino , 1978, *L'origine della vita sulla Terra*", Piccin
- Gould S J, 1987, *Il sorriso del fenicottero*, Feltrinelli
- Langer A, 1991, *Sviluppo? Basta! A tutto c'è un limite*, Azione nonviolenta, aprile
- Lovelock J, 1991, *Le nuove età di Gaia*, Bollati-Boringhieri
- Prigogine I, 1988, *La nascita del tempo*, Teoria

Scuola decrescita Orvinio
Tamino

Prigogine I, Stengers I, 1981, *La nuova Alleanza*, Einaudi

Rizzotti M, 2001, *Vita ed equilibrio chimico fisico*, *Sistema Naturae 3: 215-242*

Schroedinger E, 1988, *Che cos'è la vita*, Sansoni, (prima ed. inglese 1944)

Tamino G, 2001, *Il bivio genetico*, Edizioni Ambiente

Von Bertalanffy L, 1971, *Teoria generale dei sistemi*, Mondadori

Waddington C H, 1977, *Strumenti per pensare*, Mondadori