

TECNOLOGIA E AMBIENTE

Angelo Bonomi

Ottobre 2009

Introduzione

La relazione tra tecnologia e ambiente è stata studiata dal punto di vista scientifico, sociale, economico e naturalmente ambientale ma più raramente è stato preso in considerazione un punto di vista puramente tecnologico, cioè considerando quella attività umana che ci accompagna dagli albori delle civiltà, indipendentemente dalla scienza che pure ha contribuito al suo grande sviluppo negli ultimi secoli. Un esame della relazione tra tecnologia e ambiente può portare a numerose osservazioni originali sui problemi ambientali con i loro riflessi sul politico, il sociale e la ricerca scientifica.

La tecnologia, come attività per soddisfare i bisogni umani, esiste da lunghissimo tempo, ben precedente allo sviluppo della scienza e del metodo scientifico, ed è quindi normale che si sia formato un rapporto diretto tra questa attività e la società in cui si svolge e che riguarda in particolare l'innovazione tecnologica, l'invenzione e i suoi inventori. Uno studio sull'evoluzione del rapporto tra tecnologia e società si può trovare in un recente libro sulla storia della tecnologia [1] che si concentra sugli aspetti generali di questa relazione senza presentare, come spesso avviene quando si parla di storia della tecnologia, lunghi elenchi di nostalgiche invenzioni del passato.

Anche se può sembrare inusitato, il miglior approccio per comprendere il ruolo della tecnologia nella società, e quindi la sua relazione con l'ambiente, è quella di risalire a miti antichi su cui si sono sviluppati i rapporti tra l'uomo e la tecnologia. Per questo è interessante riportare e riflettere su due posizioni diametralmente opposte che appaiono da una parte nel mito greco di Prometeo e d'altra parte nel Taoismo della Cina del III secolo AC.

Il mito di Prometeo come riportato da Platone nel Protagora si presenta come segue:

Ci fu un tempo in cui esistevano gli dei, ma non le stirpi mortali. Quando giunse anche per queste il momento fatale della nascita, gli dei le plasmarono nel cuore della terra e quando stavano per venire alla luce gli dei ordinarono a Prometeo e a Epimeteo di dare con misura e distribuire in modo opportuno a ciascuno le facoltà naturali. Ma Epimeteo non si rivelò bravo fino in fondo: senza accorgersene aveva consumato tutte le facoltà per gli esseri privi di ragione. Quando giunse Prometeo per controllare la distribuzione, vide gli altri esseri viventi forniti di tutto il necessario, mentre l'uomo era nudo, scalzo, privo di giaciglio e di armi. Allora Prometeo, non sapendo quale mezzo di salvezza procurare all'uomo, rubò a Efesto il fuoco e ad Atena il sapere tecnico e li donò all'uomo.

Come poi sappiamo per questo furto gli dei punirono Prometeo con un supplizio orribile ed eterno. Nella comune accezione in cui è spesso tipicamente ricordato questo mito non si fa cenno alla ragione per cui Prometeo decide il furto, ma questa è invece molto importante poiché lo giustifica per assicurare la sopravvivenza dell'uomo. Ne deriva dal mito che è *la tecnologia e non la natura ad assicurare la sopravvivenza della specie umana*. L'uomo nudo e privo di armi non avrebbe potuto sopravvivere alla competizione con gli animali privi di ragione del mito.

Una posizione opposta al mito di Prometeo la si può ritrovare in un breve racconto attribuito al filosofo taoista Chuang Tse, vissuto nel III – IV secolo A.C. e riportato da Werner Heisenberg,

fisico tedesco e premio Nobel per i suoi studi nella meccanica quantistica, in un suo libro di riflessioni sulla natura e la fisica moderna scritto nel primo dopoguerra [2]:

Quando Tse Cung giunse nel territorio a nord del fiume Han, vide un vecchio che stava lavorando nel suo orto. Questi aveva tracciato dei fossi per l'irrigazione; scendeva nel pozzo e ne riportava su un vaso pieno d'acqua che versava. Si affaticava straordinariamente e pur tuttavia non combinava molto. Disse allora Tse Cung "Esiste un arnese col quale si possono irrigare in un solo giorno cento fossi. Con poca fatica si ottiene molto; non desiderate usarlo?" L'ortolano si drizzò, lo guardò e disse "E cosa sarebbe?" Disse Tse Cung "Si prende una leva di legno che dietro sia pesante e davanti leggera: in tal modo si può attingere l'acqua come se zampillasse. Questo si chiama 'pozzo a trazione' ". Allora al vecchio salì l'ira al volto, ed egli disse ridendo: "Ho udito dire dal mio maestro: se uno utilizza macchine, allora compie macchinalmente tutti i suoi atti; chi compie macchinalmente tutti i suoi atti, ha alla fine un cuore di macchina; ma se uno ha un cuore di macchina nel petto, perde la pura semplicità; uno che abbia perso la pura semplicità diviene incerto nei moti di spirito; incertezza nei moti di spirito è qualcosa di incompatibile con il vero Senso. Non che io non conosca tali cose, ma mi vergogno di applicarle"

Werner Heisenberg,, utilizza questo racconto per sottolineare come *il grande sviluppo scientifico e la rapida diffusione della tecnica non abbia lasciato il tempo all'umanità di adeguarsi a queste nuove condizioni da cui l'incertezza nei moti dello spirito e la perdita della semplicità da intendersi anche come spontaneità dell'azione umana*. Si tratta di riflessioni che saranno in parte poi riprese nell'elaborazione del principio di precauzione negli anni ottanta. Traducendo quindi l'interpretazione di questo racconto nel linguaggio attuale potremmo dire che le conseguenze di questa incertezza e perdita di spontaneità ha degenerato l'animo umano e portato a uno sviluppo sconsiderato della tecnologia per la tecnologia e al suo uso snaturato per ottenere potere e ricchezza.

A questo punto ci si può chiedere se queste due posizioni diametralmente opposte tra il bisogno di tecnologia per la sopravvivenza umana e la corruzione che essa può provocare nell'animo fino a diventare essa stessa un pericolo per la sua sopravvivenza siano comunque conciliabili. Probabilmente molti dei pericoli e danni provocati dalla tecnologia provengono proprio dal fatto di dimenticare che essa è fondamentalmente un'attività di sopravvivenza e, come un farmaco, essa può salvare la vita o ucciderla a seconda di come viene adoperata.

Partendo da queste riflessioni fondamentali questo articolo, attraverso una serie di considerazioni generali sulla tecnologia, vuole esprimere alcune critiche in particolare a una certa visione ideologica dell'ambiente che parte da alcuni presupposti che negano alla tecnologia la capacità di risolvere i nostri problemi, e che sia necessario un ritorno alla natura come vera protettrice della specie umana. Sovente l'ambientalismo solleva valide critiche a molte delle tecnologie in uso e indica utili suggerimenti per nuove tecnologie alternative, tuttavia, in molti casi esso lancia anche un messaggio, spesso implicito ma non per questo inefficace, che è antiscientifico e in particolare antitecnologico. Questo messaggio si è già largamente diffuso e comincia ad avere i suoi effetti, basti pensare come ormai la parola "chimica" sia diventata nell'accezione comune densa di significati di pericolo. Tutto questo allo stesso tempo influenza negativamente i mezzi che la società dovrebbe mettere a disposizione per l'innovazione necessaria a risolvere proprio i problemi che l'ambientalismo solleva.

Per affrontare questi temi dal punto di vista tecnologico è utile prima di tutto dare una descrizione di un modello generale della tecnologia, indipendente dalla sua specificità, e quindi descrivere l'ecosistema tecnologico ovvero il sistema in cui le tecnologie interagiscono tra di loro determinando la nascita di nuove tecnologie e l'estinzione di altre. Questa descrizione ci permette di trattare dal punto di vista tecnologico il caso del Protocollo di Kyoto per vederne i suoi limiti,

mentre per evidenziare l'implicito messaggio antitecnologico di un certo ambientalismo abbiamo scelto di discutere l'opera di Jeremy Rifkin, ambientalista ben conosciuto e ascoltato, e in particolare i suoi due libri rispettivamente sull'entropia [3] e sull'economia all'idrogeno [4] che riguardano direttamente temi tecnologici. Infine abbiamo discusso i limiti di un principio caro all'ambientalismo, ispirato dal filosofo tedesco Hans Jonas [5], e chiamato "principio di precauzione", e vedere come l'incertezza intrinseca esistente nelle sue modalità di applicazione possa portare attraverso possibili interpretazioni restrittive a una paralisi dello sviluppo tecnologico senza poter affrontare i problemi ambientali che questo invece potrebbe risolvere.

Tecnologia ed ecosistema tecnologico

L'ingegneria, che pur ha come oggetto centrale lo studio delle tecnologie, non si è mai praticamente occupata di sviluppare modelli generali dell'attività tecnologica umana preferendo interessarsi alle sue varie specializzazioni. D'altra parte gli economisti riconoscono come lo sviluppo economico sia strettamente collegato allo sviluppo tecnologico ma tuttavia trovano una grande difficoltà a integrare la tecnologia nell'economia e, quando cercano di sviluppare modelli econometrici in cui ne devono tener conto, sono costretti ad adottare semplificazioni così spinte da risultare inadeguate come è stato ben discusso in un workshop dell'OCSE sulla politica tecnologica e l'ambiente (6). In realtà gli studi e i modelli generali sull'attività tecnologica sono portati avanti solo da una minoranza di studiosi di economia e management, scienze politiche e sociali, e perfino con contributi di biologi teorici che hanno intravisto forti analogie ad esempio tra evoluzione biologica ed evoluzione tecnologica.

Esistono due approcci per lo sviluppo di modelli generali per la tecnologia, uno prende in considerazione la tecnologia come oggetto tecnologico (macchina a vapore, automobile, elicottero, ecc.) e studia le relazioni generali tra i vari componenti dell'oggetto, l'altra, più interessante per le nostre riflessioni, considera la tecnologia come un processo composto da un insieme di operazioni tecnologiche. L'approccio della tecnologia come insieme di operazioni tecnologiche risale a vari studiosi come R.R. Nelson ma soprattutto a Stuart Kauffman che, pur essendo un biologo teorico, non ha mai mancato nei suoi articoli e libri di tracciare un parallelo tra evoluzione biologica ed evoluzione tecnologica avvalendosi in particolare delle metodologie transdisciplinari offerte dalla scienza della complessità. In particolare Kauffman, con altri autori, ha studiato il learning by doing e cioè i miglioramenti tecnologici che avvengono con l'uso di una tecnologia [7] sviluppando un modello matematico in cui la tecnologia è considerata come un insieme di operazioni. Questo modello è stato anche esteso e generalizzato per le attività di ricerca & sviluppo per applicazioni nel campo della pianificazione degli esperimenti ed è disponibile come documento di lavoro su Internet.[8].

Un processo tecnologico è normalmente composto da una miriade di fenomeni fisici o chimici che ne determinano il prodotto. La complessità e il numero di questi fenomeni che avvengono in un processo non permettono normalmente di identificarli e considerarli nella loro totalità. Però è possibile radunarli in insiemi coerenti che rappresentano le operazioni della tecnologia. Per operazione tecnologica si intende quindi operazioni come riscaldare, versare, forare, comprimere, caricare un condensatore elettrico, macinare, ecc. che fanno funzionare una tecnologia. Questa definizione ricorda ad esempio le cosiddette operazioni unitarie come distillare, estrarre, ecc. utilizzate in ingegneria per la descrizione dei processi chimici. Il numero di operazioni che possono essere prese in conto in un processo tecnologico dipende dal dettaglio con cui si intende descrivere il processo. Normalmente questo dipende anche dai parametri che si possono usare per definire l'operazione. Ad esempio un'operazione come riscaldare può dipendere dalla temperatura che si desidera ottenere ma anche eventualmente dalla velocità di riscaldamento che si intende usare e dalla scelta del sistema di riscaldamento ad esempio elettrico o alla fiamma. L'insieme che

definisce le operazioni di una tecnologia e i parametri scelti per il suo funzionamento è chiamato ricetta tecnologica e la ricerca di ricette ottimali costituisce il normale lavoro di miglioramento che si effettua durante l'uso di una tecnologia. Il numero di operazioni tecnologiche utilizzabili non è precisamente definibile poiché dipende dal dettaglio con cui si vuole descrivere una tecnologia, inoltre, le scoperte scientifiche continuano ad arricchirne le possibilità. Si pensi ad esempio all'introduzione del motore elettrico nel XIX secolo nelle tecnologie fino allora puramente meccaniche, all'elettronica nel XX secolo o più recentemente alle biotecnologie e alle nanotecnologie. Le operazioni tecnologiche non sono necessariamente ordinate secondo una sequenza temporale lineare ma possono, nella descrizione di una tecnologia, essere ramificate con operazioni che avvengono quindi anche contemporaneamente, inoltre, lo stesso tipo di operazione può intervenire più volte nella descrizione di una tecnologia. Il modello mostra che il numero delle tecnologie descrivibili è straordinariamente elevato. Se consideriamo ad esempio una tipica tecnologia composta da un centinaio di operazioni che comprendono una ventina di tipi di operazioni tecnologiche con tutte le sue possibili ramificazioni temporali del processo è possibile con il modello calcolarne il numero enorme di possibilità. Per dare un'idea concreta di questo numero, che possa metaforicamente farci sentire la sua realtà, possiamo ricorrere al caso matematicamente analogo delle proteine. Le proteine come sappiamo sono composte dalla combinazione più o meno ramificata di venti tipi di aminoacidi che si legano in sequenza tra di loro. Se consideriamo di produrre tutte le proteine possibili che possiamo avere in una sequenza di 100 aminoacidi, e immaginando di limitarci a sintetizzare solo una molecola proteica per tipo, è stato calcolato che tutto il carbonio presente nella nostra galassia non sarebbe sufficiente per farlo. Poiché matematicamente la proteina con i suoi cento aminoacidi di venti tipi può essere fatta corrispondere alla nostra tecnologia composta da cento operazioni di venti tipi, possiamo comprendere come il numero di tecnologie che possiamo potenzialmente immaginare sia straordinario. Anche se la gran parte delle tecnologie che risultano dalle operazioni combinatorie sono assurde perché violano principi fisici ovvero sono inutili, è ragionevole pensare che comunque il numero di tecnologie potenzialmente utili sia straordinariamente grande e che il numero di tecnologie che l'umanità ha potuto sviluppare nella sua storia sia infimo rispetto al numero di tecnologie potenzialmente disponibili. Naturalmente queste considerazioni non sono una dimostrazione che esista necessariamente una soluzione tecnologica a tutti i nostri problemi ambientali, tuttavia non si può evitare di criticare, dal punto di vista tecnologico, un'opinione diffusa in un certo ambientalismo che emette molti dubbi sulla possibilità di avere soluzioni tecnologiche per i problemi ambientali. In realtà ci si dovrebbe piuttosto chiedere *se il problema non sia se esista una tecnologia per la soluzione di un nostro problema ma se facciamo abbastanza sforzi per trovarla*. Si tratta di un'osservazione che ho già riportato in un mio articolo precedente sulla relazione tra ricerca & sviluppo e le tecnologie ambientali [9].

Un altro aspetto molto importante nella descrizione generale delle tecnologie è rappresentato dall'ecosistema in cui le tecnologie si relazionano e le cui attività corrispondenti nascono o si estinguono in maniera analoga alle specie viventi negli ecosistemi biologici. Un classico esempio di descrizione della competizione tra due tecnologie nell'ecosistema tecnologico è quello del trasporto umano che avveniva un tempo con il cavallo e attualmente con l'automobile. La sostituzione del cavallo con l'automobile ha avuto tutta una serie di effetti nell'ecosistema. Con il cavallo sono scomparse le stazioni di posta e mestieri come il maniscalco mentre l'introduzione dell'automobile ha fatto comparire molte nuove tecnologie come la produzione di benzina e di pneumatici ovvero le stazioni di servizio. L'apparizione di una nuova tecnologia o l'estinzione di una vecchia quindi non sono fenomeni isolati ma si ripercuotono nell'ecosistema a cascata causando la nascita o l'estinzione di ulteriori tecnologie. Mentre negli ecosistemi biologici i fattori competitivi sono soprattutto legati alla nutrizione e alla riproduzione, nell'ecosistema tecnologico sono soprattutto i fattori sociali ed economici a determinare la diffusione o l'estinzione di una tecnologia.

In un mio articolo precedente [9] ho illustrato come una nuova tecnologia possa apparire meno economica di una tecnologia esistente ma poi, per effetto dell'aumento di scala della produzione con la nuova tecnologia e con il learning by doing che ne deriva dal suo uso, la situazione si possa capovolgere, e la nuova tecnologia possa diventare in realtà più economica prevalendo nell'ecosistema. Questo tipo di relazione tra le varie tecnologie è molto complesso ed è possibile darne un'idea se consideriamo ad esempio l'introduzione della tecnologia degli impianti fotovoltaici nella produzione di energia elettrica seguendo in particolare il componente più importante e cioè il silicio. Questo materiale è ottenuto riducendo con carbone pietrame ricco in silice con un forno elettrico a riduzione ottenendo silicio di qualità metallurgica che per le applicazioni elettroniche e solari deve essere ulteriormente purificato attraverso complessi procedimenti. La maggior parte del silicio prodotto è destinato alla produzione di leghe di alluminio che sono principalmente usate per il corpo dei motori a scoppio automobilistici mentre una parte minore è usata nella produzione dei siliconi usati per adesivi e materie plastiche. Solo una piccola parte è purificata per le qualità elettroniche e solari. Il costo attuale del silicio solare dipende soprattutto dal suo costo di purificazione e il suo ottenimento nelle varie forme utilizzabili nelle celle fotovoltaiche. Quando negli anni ottanta del secolo scorso la domanda di silicio solare è aumentata sono stati studiati vari procedimenti per ottenere direttamente silicio solare senza passare attraverso le costose tecniche di purificazione utilizzate per la qualità elettronica. Nessuno di questi procedimenti venne poi industrializzato poiché vi era una quantità sufficiente di scarti di silicio elettronico perfettamente adatto agli usi solari. Se per ipotesi nel futuro la domanda di leghe di alluminio al silicio dovesse crollare, ad esempio se le auto abbandonassero il motore a scoppio per il motore elettrico, il costo del silicio metallurgico potrebbe aumentare sensibilmente a causa del ridotto livello di produzione e influenzare la competitività economica del fotovoltaico al silicio rispetto ad altre tecniche di produzione dell'energia. Questo però potrebbe anche favorire lo sviluppo di nuove tecnologie dedicate all'ottenimento del solo silicio di qualità solare se la sua domanda diventa veramente importante.

Queste riflessioni sulle tecnologie e sull'ecosistema tecnologico portano ad alcune conclusioni importanti e al fatto che *non ha molto senso discutere di economia e costi su future tecnologie che, se utilizzate in larga misura, possono avere un impatto profondo nell'ecosistema tecnologico che non è possibile prevedere*. In realtà la cosa più ragionevole è quella di porsi la domanda se un insieme di nuove tecnologie che appartengono a un nuovo possibile ecosistema tecnologico siano veramente importanti da sviluppare. In caso di risposta positiva, la cosa migliore è *semplicemente affrontare i necessari studi e ricerche confidando nel grande potenziale esistente nelle nuove tecnologie possibili e facendo lo sforzo adeguato per ricercarle*. Infine, possiamo osservare che la tesi sostenuta in questo articolo secondo cui le tecnologie rispettose dell'ambiente possono benissimo essere più economiche di quelle convenzionali è stata sostenuta anche da noti ambientalisti americani nel quadro di una prospettata rivoluzione industriale [10].

Limiti del Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto è un importante accordo internazionale sulla riduzione dell'emissione dei gas serra messo a disposizione per la firma dei paesi industrializzati dal marzo 1998 e che impegna i paesi firmatari a ridurre del 5% le emissioni di gas serra, in particolare CO₂, nel periodo 2008-2012 rispetto alle emissioni del 1990. Per il raggiungimento di questi obiettivi il protocollo lascia liberi i paesi firmatari di ricorrere a vari mezzi, incluso l'Emission Trade System (ETS), ovvero la concessione e commercio di unità di riduzione di emissioni o di assorbimento di gas serra tra i vari paesi, come pure l'uso di incentivi ovvero di tasse o imposte per stimolare la riduzione delle emissioni che ha portato a discutere, e in qualche caso applicare, ad esempio una "carbon tax" sulle emissioni. Il protocollo di Kyoto è stato oggetto da parte dell'ambientalismo di critiche per la sua

limitatezza riguardo la riduzione di gas serra prevista ma anche promozione additando come esempi negativi paesi gli Stati Uniti e l'Australia che si sono rifiutati di firmarlo.

Critiche indirette al Protocollo di Kyoto riguardano poi il possibile aumento delle temperature per l'effetto serra previsto dai modelli del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sostenuto dall'ONU. Come ho già avuto modo di accennare in un mio articolo precedente [9], le previsioni possibili con questi modelli sono accompagnati da incertezze sugli incrementi di temperatura poiché, a differenza dei modelli meteorologici, non è possibile determinare la correttezza delle previsioni a posteriori per verificarne definitivamente la validità. Vi è poi un'altra incertezza che è legata alla complessità del sistema e dei limiti dei dati utilizzabili che potrebbero dare risultati non convergenti manifestando una forte sensibilità alle condizioni iniziali, conosciuta ad esempio nei modelli meteorologici con il noto "effetto farfalla". Il fisico matematico David Ruelle ha discusso questi limiti alle previsioni in un suo libro [11] dedicato ai sistemi caotici. Queste osservazioni ci permettono di dire che, non solo è possibile che gli aumenti reali di temperatura possono essere più bassi o più alti di quelli calcolati ma che addirittura, a seguito di possibili effetti farfalla, si inneschino instabilità che potrebbero portare il sistema addirittura in direzioni opposte come verso un forte raffreddamento. Il problema quindi è sicuramente di intervenire il più presto per ridurre il più possibile le emissioni, cosa che può essere fatta efficacemente solo con nuove tecnologie piuttosto che con risparmi, inoltre, in ogni caso, occorrerebbe anche affrontare tecnologicamente i problemi che possono derivare da un aumento di temperatura di cui non abbiamo nessuna certezza che possano essere evitati. Ci si può chiedere infine se sia conveniente insistere esclusivamente sul perfezionamento dei modelli dell'IPCC, che, come abbiamo visto hanno comunque incertezze intrinseche che non si possono eliminare, ma piuttosto cominciare a studiare possibili nuovi ecosistemi tecnologici che possono risultare economicamente e socialmente efficienti, dando così utili direttive alla ricerca & sviluppo evitando di studiare nuove tecnologie in maniera isolata e dispersa che poi risultano di difficile integrazione nell'ecosistema.

Vi è poi un'altra grande limitazione del Protocollo di Kyoto che riguarda il campo dei paesi coinvolti e le raccomandazioni su come perseguire gli obiettivi previsti. Nonostante che già alla fine degli anni 90 fosse chiaro che paesi emergenti come la Cina o l'India potessero diventare rapidamente sorgenti molto importanti di emissione di gas serra, essi non sono stati coinvolti negli accordi del protocollo e, a dieci anni di distanza, i fatti dimostrano come la Cina, con la sua produzione di energia basata principalmente sul carbone, abbia, se pur di poco, superato gli Stati Uniti nelle emissioni mentre l'India ha già superato quelle del Giappone [12]. Il fatto è che, a parte una raccomandazione generale sullo sviluppo di nuove tecnologie, traspare dal Protocollo l'opinione che la riduzione delle emissioni prevista possa essere ottenuta dal risparmio energetico e dal rendere più costose le fonti energetiche attuali, vedi commercio degli ETS e carbon tax, come incentivo alla sostituzione con nuove tecnologie senza però entrare in merito su queste possibili nuove tecnologie e sui loro problemi di introduzione nell'ecosistema tecnologico attuale. In fondo il Protocollo sembra essenzialmente manifestare fiducia in un libero processo di sviluppo tecnologico, pilotato da incentivi, che dovrebbe portare alla soluzione del problema del gas serra in un tempo accettabile. Si tratta però di una probabile illusione che ricorda metaforicamente la situazione di libero mercato e non intervento in economia che hanno portato alla grave crisi economica dell'autunno 2008.

Ambientalismo e messaggi antitecnologici

L'ambientalismo è un movimento eterogeneo che presenta anche punti di vista contrastanti. In particolare una parte minoritaria del movimento, che viene indicata come ecologia profonda, ha posizioni proprie particolari che mettono la terra e non l'uomo come oggetto centrale da proteggere

rifacendosi in un certo modo alle idee di James Lovelock sull'ipotesi Gaia, ovvero che la terra sia essa stessa un essere vivente di cui l'uomo è solo uno dei componenti. Per l'ecologia profonda la sorgente principale di inquinamento che mette in pericolo la terra è l'uomo stesso con l'enorme aumento della sua presenza sul pianeta e il suo crescente bisogno energetico e di nutrizione. Da questo punto di vista i pericoli per il pianeta vengono soprattutto da attività intensive come l'agricoltura e la pesca ovvero la deforestazione piuttosto che l'inquinamento industriale. Sotto certi aspetti l'ecologia profonda è paradossalmente meno antitecnologica che un certo ambientalismo convenzionale e Lovelock stesso è eventualmente favorevole allo sviluppo dell'energia nucleare, se questa può contribuire ad evitare l'effetto serra, considerando che l'eventuale radioattività che potrebbe generare sia un problema per gli esseri umani piuttosto che per il pianeta e che dovrebbe quindi essere accettata per il bene della terra. Un'interessante ricostruzione dei rapporti tra James Lovelock e l'ambientalismo, inclusa l'ecologia profonda, può essere trovata in un libro, chiaramente pro nucleare, scritto da uno storico del pensiero scientifico [13]. Ritornando all'ambientalismo corrente esso si basa tipicamente su alcuni presupposti che considerano i pericoli per l'umanità come il risultato dello sviluppo abnorme e incontrollato delle tecnologie. Questo ha portato all'inquinamento dell'ambiente di cui l'effetto serra ne è un esempio eclatante. Bisogna quindi pensare a un ritorno alla natura, vista come ambiente ottimale per l'uomo, e quindi a un controllo della tecnologia che porti a un equilibrio con l'ecosistema naturale. Anche se il movimento sostiene le cosiddette "tecnologie verdi", la posizione dell'ambientalismo verso le tecnologie in generale è ambigua. Al di là della condanna di certe tecnologie inquinanti, non evita messaggi antitecnologici più o meno espliciti che portano a considerare ad esempio che le sostanze create dalla natura siano benefiche e che invece quelle create dall'uomo pericolose. Il messaggio antitecnologico si manifesta poi soprattutto nella sfiducia più o meno espressa verso la tecnologia come possibile soluzione dei problemi ambientali preferendo suggerire la semplice eliminazione di certe tecnologie che potrebbero essere pericolose senza veramente proporre alternative. Ne nasce da questo uno squilibrio tipico di certe affermazioni ambientaliste che presentano in dettaglio danni e possibili vittime che possono derivare dall'*uso* di una certa tecnologia senza però valutare i danni e le vittime del *non uso* di quella tecnologia, cosa tra l'altro, bisogna ammettere, molto più difficile da valutare ma non per questo inesistente. La posizione antitecnologica si sviluppa poi in maniera ancora più importante con l'uso restrittivo del cosiddetto "Principio di precauzione" che sarà discusso più avanti.

Per illustrare come vengano diffusi i messaggi antitecnologici abbiamo scelto di discutere le opinioni di un ambientalista ben conosciuto ed ascoltato quale il sociologo Jeremy Rifkin, e in particolare quanto ha pubblicato in due suoi libri di successo sull'entropia (3) e sull'idrogeno (4) che toccano direttamente argomenti scientifici e tecnologici. In questi libri, e in particolare in quello dedicato all'entropia, Rifkin si rifà alle idee di Georgescu-Roegen, un economista eterodosso morto da alcuni anni, sostenitore di una visione neomalthusiana della società umana il cui collasso è prevedibile, non per l'aumento della popolazione, ma per un'inarrestabile aumento dell'entropia. L'entropia è una grandezza termodinamica di non facile comprensione e, in un modo semplificato questa grandezza può essere considerata legata al disordine molecolare di un sistema fisico. Essa quindi tende ad aumentare sia con l'aumentare della temperatura ma anche quando due componenti si miscelano tra di loro come quando il sale si scioglie nell'acqua. Inoltre essa determina ad esempio quanta parte dell'energia termica di un sistema può essere trasformata in energia utile come ad esempio energia meccanica. L'utilizzo di materie prime per le varie produzioni, inclusa quella energetica, e la loro trasformazione e dispersione fatale dopo il loro uso, contribuiscono all'aumento dell'entropia e quindi tutta l'attività tecnologica tende ad aumentare l'entropia del pianeta riducendo allo stesso tempo le possibilità di trovare materie prime utilizzabili per le fabbricazioni o per produrre energia. Poiché la terra è un sistema chiuso che può scambiare solo energia ma non materia con lo spazio circostante, Georgescu-Roegen afferma che l'entropia non può che aumentare continuamente, e si arriverà a un punto in cui a causa dello sviluppo dell'attività

tecnologica sarà così difficile produrre energia e trovare materie prime utilizzabili da provocare il collasso del sistema. Il fatale aumento dell'entropia terrestre, si tratta in verità come vedremo, di un'affermazione scientificamente contestabile ma che Rifkin fa propria, anzi, nel suo libro dedicato all'entropia [3], estende ulteriormente questa visione a tutta una serie di attività umane inclusa l'evoluzione storica dell'uomo. Addirittura, in un capitolo dedicato al sistema scolastico, sostiene, citando uno storico americano dei primi del novecento, che le maggiori conoscenze e informazioni disponibili aumentino anche il consumo energetico da parte della mente umana con conseguente aumento dell'entropia, meravigliandosi che questa ipotesi non sia mai stata presa scientificamente in considerazione.

Non bisogna quindi stupirsi che le idee di Rifkin sull'entropia abbiano sollevato numerose critiche in campo scientifico. In particolare l'idea che in un sistema chiuso non possano avvenire processi con diminuzione di entropia è facile da contestare immaginando un esperimento con un tubo a U chiuso contenente sale sciolto in acqua. Se si riscalda con energia solare la parte del tubo contenente la soluzione di sale è possibile evaporare l'acqua che può condensare nell'altra parte fredda del tubo ripristinando il sale separato dall'acqua con diminuzione dell'entropia. In realtà nell'insieme del sistema si registra un aumento di entropia ma questo aumento avviene tutto nel sole e compensa largamente la diminuzione che avviene nel sistema chiuso del tubo a U. Bisogna notare che questo esperimento è possibile poiché sulla terra esiste un campo gravitazionale. In assenza di gravità la soluzione di sale fluttuerebbe nel tubo e sarebbe difficile ottenerne la separazione. L'influenza dei campi di forza, come il campo gravitazionale, è un aspetto dei sistemi fisici, che è completamente trascurato dalla termodinamica classica, ma di cui se ne è riconosciuto il ruolo nel campo della termodinamica dei processi irreversibili lontani dall'equilibrio. In questo caso si possono formare le cosiddette strutture dissipative che possono invece contribuire a ridurre l'aumento di entropia. Queste strutture sono state studiate da Ilya Prigogine e discusse in un suo famoso libro divulgativo [14]. In questo libro Prigogine descrive un semplice esperimento di creazione di strutture dissipative costituite dalle cosiddette celle di Bénard. Se si scalda lentamente un sottile strato di liquido su una piastra, dapprima si formerà semplicemente una differenza di temperatura tra il liquido a contatto con la piastra e quello a contatto con l'aria. Le molecole di liquido a contatto con la piastra si muoveranno più velocemente delle altre formando un gradiente di temperatura. Se si continua a scaldare il gradiente aumenta ma a un certo punto si formeranno nel liquido delle celle di convezione con una struttura ad alveare. Miliardi di molecole invece di semplicemente agitarsi sempre più forte acquistano un movimento ordinato di convezione formando così una struttura dissipativa. L'entropia del sistema è aumentata ma meno che nel caso in cui le molecole si muovessero semplicemente in modo disordinato. Prigogine intravede in questo fenomeno l'influenza della forza di gravità anche se il sistema, nonostante l'apparente semplicità, è troppo complesso affinché sia possibile prevedere con un calcolo il gradiente di temperatura critico e la geometria delle celle. Strutture dissipative possono avvenire anche a causa di campi elettromagnetici e Prigogine ritiene che queste strutture abbiano un ruolo anche nei fenomeni vitali. Rifkin vede in queste strutture ordinate un contrasto con le sue idee di aumento inesorabile di entropia e nel suo libro sull'entropia [3] le ridicolizza senza tener conto che è proprio con queste idee che Ilya Prigogine si è guadagnato il Premio Nobel. Questo la dice lunga sulla posizione implicitamente antiscientifica dell'autore.

In un'altra parte del libro [3], Rifkin cerca addirittura di riformulare la scienza sostenendo che la legge dell'entropia prenderà presto il posto della meccanica newtoniana come modello di spiegazione del mondo in cui viviamo. Per far questo utilizza il principio di indeterminazione di Heisenberg, che limita a livello atomico la precisione possibile delle misure, come dimostrazione di inconsistenza delle certezze della fisica classica. Dal testo traspare come questo principio sia anche considerato come una limitazione alle possibilità di sfruttamento tecnologico della scienza newtoniana. Si tratta di un punto di vista chiaramente antitecnologico ma che è smentito dai fatti. In

effetti il principio di indeterminazione, che regge i fenomeni microscopici legati alla meccanica quantistica, non ha mai costituito una limitazione alle applicazioni della meccanica classica ma al contrario ha aperto un campo di nuove applicazioni come nel caso delle nanotecnologie. Fenomeni dipendenti dalla meccanica quantistica, e quindi da questo principio, sono ad esempio l'effetto tunnel usato in certi transistor per circuiti elettronici, il laser per la lettura dei DVD, la superconduttività usata nelle apparecchiature mediche di risonanza magnetica. Inoltre questi fenomeni quantistici sfruttati tecnologicamente, escono dal dominio della termodinamica classica, e quindi dalla legge dell'entropia, anche se naturalmente il sistema macroscopico che li sfrutta necessita di energia e quindi ne è soggetto, ma questo non necessariamente crea un aumento di entropia se l'origine di questa energia viene direttamente dal sole senza provocare aumento dell'entropia terrestre.

Il libro di Rifkin sull'economia all'idrogeno [4] è stato pubblicato dodici anni dopo il controverso libro sull'entropia ma non per questo l'autore cambia le sue idee. Il libro reintroduce il concetto di terra come sistema chiuso condannato ad avere solo aumenti di entropia e degradazione delle possibilità di sfruttamento. Discute quindi la degradazione crescente della storia umana dal punto di vista della produzione e consumo di energia e dei pericoli geopolitici attuali legati all'uso del petrolio e dell'effetto serra. Solo gli ultimi due capitoli sono dedicati all'idrogeno di cui presenta una lunga lista delle tecnologie presenti e passate per la sua produzione e quanto è conosciuto dello sviluppo di nuove tecnologie dimenticando però di trattare uno dei principali problemi che riguardano l'uso esteso dell'idrogeno che è il suo stoccaggio. Non vi è d'altra parte alcun tentativo di ricostruire una posizione integrata delle varie tecnologie legate all'idrogeno nel contesto di un futuro ecosistema tecnologico. L'autore si limita a proporre un sistema integrato di produzione e distribuzione dell'idrogeno che chiama Hydrogen Energy Web in analogia con il World Wide Web di Internet. Nel presentare l'economia all'idrogeno l'autore la considera in realtà come un semplice rallentatore della degradazione a cui il pianeta è condannato dal fatale e continuo aumento di entropia. In fondo leggendo i libri di Rifkin si osserva, accanto a considerazioni e critiche alle tecnologie attuali del tutto condivisibili, un tentativo di sostenere a qualsiasi costo, anche in contrasto con la scienza, le sue idee fondamentali, distorcendo se necessario i fatti e sostenendo sovente le proprie tesi in campo scientifico o tecnologico citando opinioni giornalistiche piuttosto che articoli scientifici o tecnici. Si può notare che le stesse critiche che possono essere fatte a Rifkin sono dello stesso tipo di quelle che sono state sollevate con grande clamore a Brjon Lomberg per il suo libro controverso antiambientalista [15]. Ci si può quindi chiedere se questi autori, con una formazione di tipo sociale ed economico, che scrivono con grande successo su argomenti scientifici e tecnologici riguardo l'ambiente, possano dare veramente un contributo utile alla soluzione dei problemi ambientali della terra.

In realtà non è difficile immaginare possibili cicli di generazione di idrogeno o addirittura di idrocarburi, e quindi di energia, che, senza aumentare l'entropia terrestre, si inseriscono in maniera rinnovabile nel ciclo terrestre del carbonio, dell'aria e dell'acqua. Nella Fig. 1 abbiamo riportato un possibile ciclo di produzione ed uso dell'idrogeno con una generazione di entropia terrestre praticamente nulla. In questo schema la radiazione solare genera energia elettrica in un sistema di celle fotovoltaiche che è utilizzata per elettrolizzare l'acqua proveniente dal suo ciclo ambientale. L'ossigeno formato è liberato nell'atmosfera mentre l'idrogeno è stoccato e può essere utilizzato come carburante o combustibile per avere energia termica usando ossigeno atmosferico e liberando acqua che ritorna nel suo ciclo ambientale. In un altro uso si può produrre energia elettrica in celle a combustibile utilizzano ossigeno e liberando acqua come nell'uso precedente. La generazione, trasporto, stoccaggio e uso dell'idrogeno può far parte di in un sistema a rete come lo HEW (Hydrogen Energy Web) descritto da Rifkin nel suo libro sull'idrogeno (4). La fattibilità e

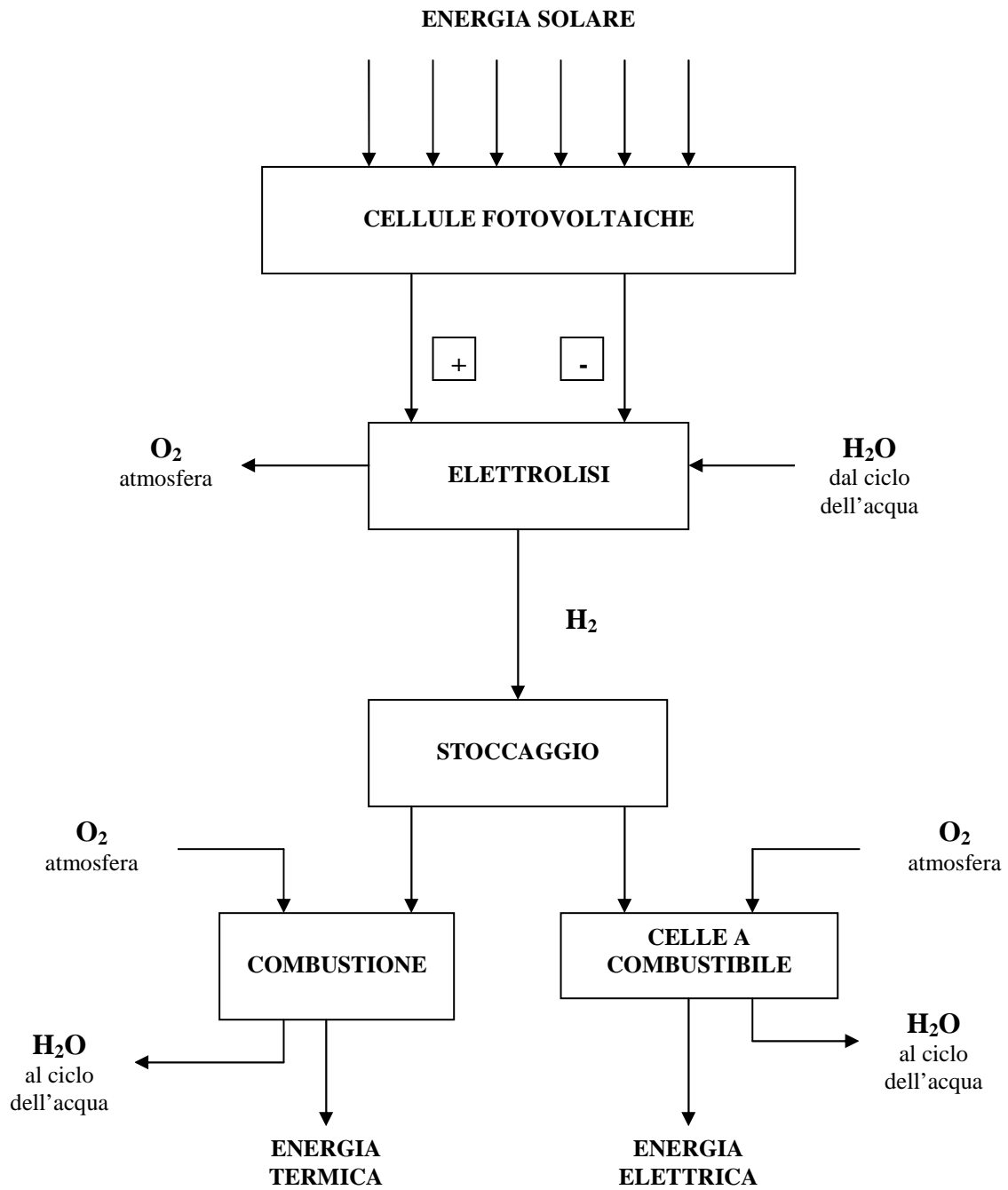


Fig. 1. Ciclo di produzione e uso dell'idrogeno

l'interesse di questo ciclo risiede fondamentalmente nell'efficienza del sistema fotovoltaico che deve produrre sufficiente energia, non solo per elettrolizzare l'acqua ma anche per sostenere tutti i sistemi di trasporto e stoccaggio della rete. In questo modo la generazione di entropia terrestre di questo sistema energetico è praticamente nulla. L'alta efficienza che è necessaria per rendere interessante questo tipo di processo non necessariamente dovrebbe essere riposta nel silicio solare, ma potrebbe trovarsi in altri materiali fotovoltaici che si è iniziato a studiare da non molto tempo.

Oltre alla generazione di energia elettrica per via fotovoltaica esiste anche un altro modo di sfruttare l'energia solare rappresentato dalla fotosintesi, in altre parole la trasposizione, a livello industriale, di processi biologici di sintesi di molecole organiche a partire da acqua e anidride carbonica. In questo modo si potrebbe avere la produzione di intermedi chimici utilizzabili come combustibili o per sintesi organiche sostituendo l'attuale petrolchimica. Questo ciclo del carbonio è schematicamente riportato nella Fig. 2. In questo caso la radiazione solare è utilizzata per effettuare una fotosintesi di tipo clorofilliana usando l'acqua del ciclo terrestre con l'anidride carbonica dell'atmosfera per produrre glucosio liberando ossigeno nell'aria. Il glucosio può poi essere sottoposto a fermentazione con liberazione di anidride carbonica nell'atmosfera e produzione di etanolo. Questo può essere utilizzato come carburante o combustibile ma anche disidratato con produzione di etilene, intermedio importante attualmente ottenuto dal petrolio, che permette di aprire praticamente tutta la chimica organica per la produzione di materie plastiche e altre molecole organiche di interesse. Si potrebbe immaginare di poter addirittura procedere alla sintesi fotocatalitica diretta di metano o altri idrocarburi e la loro utilizzazione come combustibili o intermedi chimici. Il ciclo della Fig. 2 per se stesso non genera entropia terrestre ma il suo funzionamento pratico richiede energia. Tuttavia, se l'energia utilizzata proviene dal ciclo dell'idrogeno descritto precedentemente, il sistema, usando energia solare, è entropicamente neutro. Unendo quindi il ciclo dell'idrogeno con il ciclo del carbonio abbiamo un potente ecosistema tecnologico in grado di produrre energia e molecole organiche utilizzabili come combustibili o intermedi chimici senza incremento di entropia terrestre. Naturalmente non tutte le tappe di questi cicli sono state realizzate o hanno raggiunto efficienze che le rendono utilizzabili, ma meritano di essere studiate soprattutto riguardo i materiali fotovoltaici e i catalizzatori di fotosintesi. In questo campo le nanotecnologie, con le loro possibilità di manipolare singole molecole per usi specifici, potrebbero riservare gradite sorprese riguardo queste possibilità.

Detto questo rimane comunque un certo numero di tecnologie importanti che usano elementi chimici relativamente rari e non rinnovabili e quindi collegati fatalmente all'aumento dell'entropia terrestre a cui fa riferimento Rifkin. Si tratta di elementi la cui estrazione, uso nella fabbricazione di prodotti, utilizzazione finale e trasformazione in rifiuto che, per quanto si spingano le possibilità di riciclo, generano comunque una certa dispersione rendendo difficile il loro recupero. Mentre per i materiali strutturali è possibile trovare sostituti nel campo delle materie plastiche o in materiali a base di carbonio che, come abbiamo visto, si potrebbero produrre in maniera rinnovabile, rimane invece il problema di elementi usati in materiali funzionali dove il carbonio non può essere necessariamente un sostituto. Si tratta in effetti di elementi sfruttati per le loro particolari proprietà elettroniche, ottiche, magnetiche e altre ancora. La tecnologia sviluppandosi può naturalmente trovare sostituti con maggiori disponibilità ma non necessariamente in tutti i casi. Tuttavia esiste un'altra possibilità di rigenerazione che consiste nel recupero di questi elementi indispensabili da ambienti in cui sono fortemente diluiti in natura o a seguito al loro uso. Un esempio di questi ambienti è l'acqua marina che contiene sciolti in maniera fortemente diluita molti elementi rari. Il problema del loro recupero è legato alla tecnologia ma soprattutto al consumo di energia che è tanto più importante quanto più questi elementi sono diluiti. La disponibilità di adeguate quantità di energia di origine solare potrebbe comunque essere una soluzione accettabile.

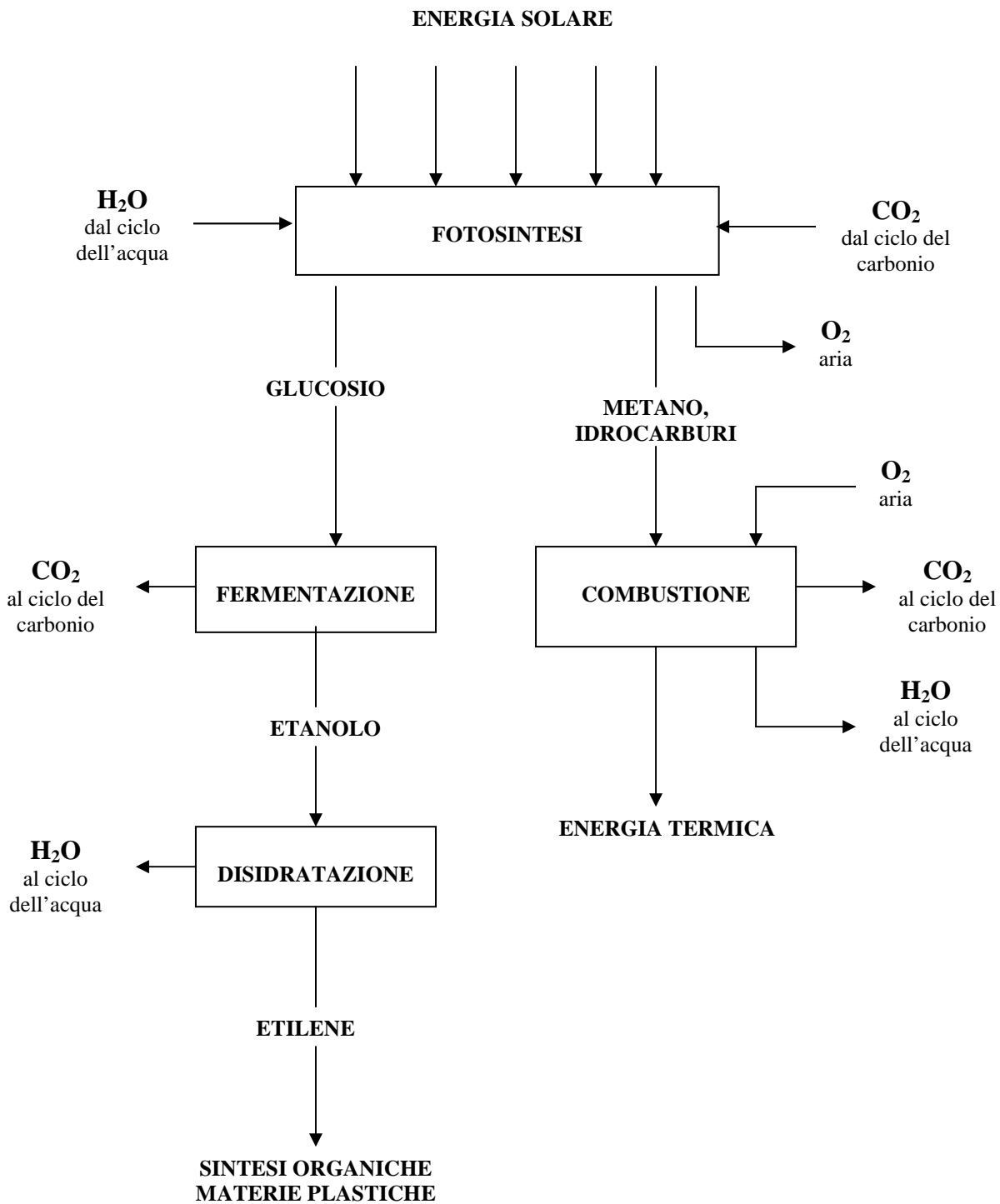


Fig.2. Ciclo di produzione ed uso del carbonio

Limiti del principio di precauzione

Il principio di precauzione riguarda i rischi legati allo sviluppo della scienza e della tecnologia e viene normalmente fatto risalire alle idee del filosofo tedesco Hans Jonas e a un suo libro [5] pubblicato nel 1979. Hans Jonas, scomparso nel 1993, è stato allievo di Martin Heidegger, famoso filosofo conosciuto anche per le sue riflessioni filosofiche sulla cosiddetta "Questione della tecnica" da cui sono nate posizioni verso la scienza e la tecnologia che stigmatizzano il loro enorme e rapido sviluppo, senza che l'uomo abbia potuto adeguarsi convenientemente, da cui la nascita di tutta una serie di problemi tra cui quelli ambientali. Si tratta di una posizione condivisa anche dal grande fisico Werner Heisenberg che abbiamo citato all'inizio di questo articolo. Da queste considerazioni è nata una posizione, diffusa in un certo ambientalismo, che bisogna mettere sotto controllo e, se necessario, rallentare lo sviluppo scientifico e tecnico per permettere un loro adeguamento a livello umano e ambientale. Naturalmente a questa posizione si potrebbe controbattere che, invece di arrivare ad arrestare lo sviluppo tecnico e scientifico, sarebbe forse meglio cercare di rendere l'uomo in grado di gestire correttamente il grande sviluppo di queste attività. Resta il fatto che da queste idee di controllo e limitazione della scienza e della tecnica è nato il principio di precauzione che, adottando ad esempio l'autorevole definizione della cosiddetta Dichiarazione di Wingspread del 1998 propone che:

Quando un'attività presenta rischi potenziali per la salute umana o per l'ambiente, è necessario adottare misure precauzionali, anche se la relazione causa-effetto non è scientificamente dimostrata

Si tratta di un principio adottato da molti paesi tra cui l'Unione Europea. Al di là di una sua ragionevolezza questo principio si presta però a numerose critiche in particolare al fatto che è scientificamente impossibile determinare in maniera assoluta e in ogni caso l'esistenza o non esistenza di una relazione causa-effetto. Il principio non contiene nessuna indicazione limitante la sua applicazione e l'interpretazione rigorosa di questo principio porterebbe in pratica, visti i limiti scientifici esistenti, alla paralisi di qualsiasi nuova attività scientifica o tecnica poiché non si possono mai escludere in maniera definitiva possibili pericoli. Questo conflitto tra il principio di precauzione e il metodo scientifico è stato discusso ad esempio in un articolo apparso sulla rivista "Sapere" [16]. In ogni caso il principio di precauzione ha determinato l'atteggiamento di certi ambientalisti contro nuove tecnologie emergenti come gli organismi geneticamente modificati (OGM) e le nanotecnologie. Questa posizione ha trovato però critiche anche da parte di scienziati favorevoli all'ambientalismo, come nel caso di Joe Smith, docente di scienze ambientali all'Open University britannica, che le ha riportate in un suo libro dedicato alle idee ambientaliste [17]. Egli segnala giustamente come l'arresto dello sviluppo di queste nuove tecnologie possano impedire la soluzione di importanti problemi in un momento in cui è richiesta tutta la creatività delle società umane per affrontarli, tenendo conto che la scienza ha comunque a disposizione metodi efficaci per verificare la loro eventuale pericolosità. Egli nota inoltre che molte critiche ambientaliste sugli OGM sono in realtà legate piuttosto all'uso che ne è fatto dalle multinazionali che da pericoli derivanti direttamente da essi.

Si può analizzare i limiti del principio di precauzione anche metaforicamente utilizzando un esempio di come la natura affronta i pericoli: gli gnou sono erbivori che vivono in branco nelle savane africane. All'arrivo della stagione secca essi devono migrare verso regioni più lontane nelle quali è possibile continuare ad alimentarsi. Per far questo essi devono affrontare l'attraversamento di fiumi infestati da coccodrilli. Giunti alla riva del fiume essi potrebbero scegliere varie maniere per attraversarlo. Fermati da una parte dalla paura, ma allo stesso tempo spinti dalla necessità di migrare, essi potrebbero scegliere di attraversarlo in maniera isolata o in piccoli gruppi facilitando enormemente l'assalto dei coccodrilli e mettendo in pericolo la specie. Oppure possono adottare in maniera rigorosa il principio di precauzione e non attraversare il fiume. Si tratta di una soluzione

illusoria poiché la crescente mancanza di cibo condannerebbe comunque, anche se più tardi, la specie all'estinzione. In realtà la natura ha selezionato un comportamento ottimale che consiste nell'attraversare il fiume con un branco compatto dove solo gli animali più deboli e quelli esterni al branco corrono il pericolo di essere assaliti dai coccodrilli. In questo modo con un minimo di sacrificio la specie è salva. Questo esempio tratto, dalla natura, dimostra come sia illusorio cercare la sicurezza assoluta nell'attività umana ma che lo sviluppo e la sopravvivenza potrebbero, anche se ciò non è desiderato e nonostante sia stato fatto di tutto per evitarlo, avere fatalmente delle vittime. La ricerca della sicurezza assoluta con la strategia del non fare non è una soluzione ma semplicemente arrendersi a pericoli futuri per i quali non si avranno disponibili possibili soluzioni e che potrebbero addirittura portare alla fine all'estinzione della specie umana

Conclusioni

In definitiva la tesi principale sostenuta in questo articolo riguarda la considerazione che è la tecnologia e non la natura a permettere la sopravvivenza dell'uomo sulla terra anche se un suo uso improprio può rivelarsi pericoloso e come un farmaco può salvare la vita o uccidere a seconda di come si usa. L'idea che la soluzione dei problemi ambientali umani risieda in un ritorno verso un equilibrio con la natura vista come figura protettrice dell'umanità è contestabile con vari argomenti. A questo riguardo è interessante considerare le osservazioni di Humberto Maturana e Francisco Varela, due biologi teorici cileni, che hanno sostenuto in un loro famoso libro [18] la tesi che l'evoluzione biologica abbia piuttosto la natura di una deriva che avviene in un ambiente essenzialmente caotico. L'esistenza di un equilibrio ambientale da raggiungere è quindi un'illusione in una natura che segue in realtà una deriva irregolare più o meno lenta. In alte parole non vi è nessuna ragione che la natura manifesti una specifica protezione per l'uomo e non proceda a un certo punto alla sua estinzione come è successo alla stragrande maggioranza delle specie biologiche che ha generato.

Un altro argomento contestato da questo articolo riguarda le posizioni antitecnologiche più o meno esplicite che si manifestano in un certo ambientalismo di cui l'opera di Jeremy Rifkin e l'uso restrittivo del principio di precauzione ne sono un esempio. Abbiamo visto come il numero delle tecnologie possibili, per il loro carattere combinatorio, sia enorme e che il problema sia piuttosto di fare tutti gli sforzi possibili per trovare le tecnologie di cui abbiamo bisogno. In queste condizioni i dubbi che la tecnologia non possa risolvere i nostri problemi da cui il suo abbandono non ha molto senso, infatti, se non vi è certamente la sicurezza di trovare una possibile soluzione ci si può però chiedere se mai esista una possibile alternativa di sopravvivenza al di là di quella tecnologica nel quadro di una deriva caotica ambientale.

Infine vale la pena di fare alcune considerazioni sul Protocollo di Kyoto e la sua possibile modifica che è in preparazione. Si discute molto in questo momento dell'utilizzo del mercato delle quote di ETS e di "carbon tax" e soprattutto sull'entità della riduzione delle emissioni da concordare. Tuttavia, come abbiamo già riferito, non vi è nessuna sicurezza che una riduzione di emissioni più o meno importante possa arrestare il riscaldamento nel caso che il sistema termico della terra sia sensibile ad esempio ad "effetti farfalla", né che le riduzioni prospettate da un nuovo protocollo possano essere più o meno rispettate nella realtà. A questo punto ci si può chiedere se non sia più ragionevole concentrarsi semplicemente sul problema di sviluppare al più presto nuove tecnologie basate su cicli rinnovabili, come quelli riportati nelle Fig. 1 e 2, facendo tutti gli sforzi necessari per realizzarle, e quindi preoccuparsi di come affrontare i problemi legati a un aumento di temperatura della terra. A titolo di esempio l'integrazione dei cicli delle Fig. 1 e 2 può generare un ecosistema tecnologico in grado di fornire in maniera rinnovabile energia, combustibili, carburanti, materiali e generare la maggior parte dei prodotti ora ottenuti con la petrolchimica. Sarebbe quindi utile prestare più attenzione e studio su nuovi ecosistemi tecnologici da cui trarre indicazioni sulle nuove

tecnologie da sviluppare che posseggono le sinergie necessarie per integrarsi validamente in un nuovo ecosistema che, come abbiamo discusso, può risultare perché no ambientalmente più sicuro, più efficiente ed economicamente più vantaggioso.

Bibliografia

- [1] Luisa Dolza “Storia della tecnologia” Il Mulino, 2008
- [2] Werner Heisemberg “Natura e Fisica Moderna” Garzanti, 1957
- [3] Jeremy Rifkin “Entropia” Mondatori, 1982
- [4] Jeremy Rifkin “Economia all’idrogeno” Mondatori, 2002
- [5] Hans Jonas “Il principio responsabilità, un’etica per la civilizzazione tecnologica” Einaudi, 1994
- [6] Michael Grubb, Jonathan Koehler “Technical Change and Energy/Environmental Modelling” in Technology Policy and Environment Workshop, Paris 21-06-2001, OCSE 2002
- [7] L. Auerswald, S. Kauffman, J. Lobo, K. Shell “The production recipe approach to modeling technology innovation” Journal of Economic Dynamics and Control, 2000, 24, pp. 389-450
- [8] A. Bonomi, A. Riu, M. Marchisio “Modeling technologies for experimental planning” disponibile come documento di lavoro nel sito www.complexitec.org
- [9] A. Bonomi “Ricerca & sviluppo e le tecnologie per l’ambiente” L’Ambiente 2006, 1, pp. 24-31
- [10] P. Hawken, A. Lovins, H. Lovins “Capitalismo naturale” Edizioni Ambiente, 2001
- [11] D. Ruelle “Caso e Caos” Bollati Boringhieri, 1992
- [12] Tuttoscienze, “La Stampa” 10 luglio 2009. p. 28
- [13] Roberto Bondì “Solo l’atomo ci può salvare. L’ambientalismo nuclearista di James Lovelock” UTET, 2007
- [14] Ilya Prigogine, Isabelle Stengers “La nuova alleanza” Einaudi, 1981
- [15] Bjorn Lomborg “L’ambientalista scettico: non è vero che la terra è in pericolo” Mondatori, 2003
- [16] M. Negrotti “Eccesso di precauzione” Sapere, 2002, pp. 62-66
- [17] Joe Smith “In cosa credono gli ecologisti” Vallardi, 2007
- [18] H. Maturana, F. Varela “L’Albero della Conoscenza” Garzanti, 1992