

Liceo Scientifico "Marinelli" Udine venerdì 18 aprile 2008 Ore 14,30

Appunti per la relazione **"Verso l'ecofisica"**

di Paolo De Toni San Giorgio di Nogaro e-mail cespix@tele2.it



Enzo TIEZZI

Verso una fisica evolutiva

Natura e tempo

Donzelli Editore

Saggi. Scienza e filosofia

pp. XII.196

2006 L. 48.406 € 25,00 ISBN 88-6036-075-7

«La conservazione senza evoluzione è morte. L'evoluzione senza conservazione è follia»: così Gregory Bateson descrive lo strano equilibrio che è in ultima analisi alla base del mistero della vita. Verso una fisica evolutiva è l'affascinante viaggio di uno dei maggiori teorici della scienza italiani alla scoperta delle leggi che regolano il dinamismo della vita sulla terra.

La ricerca di Enzo Tiezzi apre una nuova frontiera negli studi sui rapporti tra energia, termodinamica ed evoluzione dei sistemi viventi ponendo le basi di una nuova disciplina scientifica: l'ecodinamica. Tiezzi raccoglie l'eredità del maestro Ilya Prigogine, estendendo in una prospettiva olistica le conseguenze della sua rivoluzionaria teoria termodinamica. L'irreversibilità è un prerequisito indispensabile per lo sviluppo degli ecosistemi, della storia e dell'intera evoluzione. Uno stato di assoluto equilibrio termodinamico equivale alla morte, senza scambi di energia non c'è vita: la nuova scienza ecodinamica ci mostra che tali scambi, proprio in quanto irreversibili, seguono una freccia del tempo e ogni passo in avanti nell'evoluzione verso l'organizzazione più complessa si basa sull'ordine che deriva dal precedente caos. La vita è possibile solo se non deve ricominciare da zero per ogni nuova generazione. Così Tiezzi arriva a spiegare perché l'entropia è alla base dell'evoluzione stessa. Cicli, frecce del tempo ed eventi rappresentano il nuovo lessico per una chimica e una fisica finalmente evolutive. Con questo libro, Tiezzi getta magistralmente un ponte tra Darwin e Prigogine, esponendo con rara trasparenza al lettore le basi di una nuova scienza emergente capace di affrontare la sfida della complessità di una biosfera in continua evoluzione.

Enzo Tiezzi è professore ordinario di Chimica fisica all'Università di Siena. Nel 2005 ha ricevuto il prestigioso Prigogine Award e la Medaglia d'oro «Blaise Pascal» dalla European Academy of Sciences. Tra le sue numerose pubblicazioni ricordiamo: Fermare il tempo (Raffaello Cortina, 1996); La bellezza e la scienza (Raffaello Cortina, 1998), e, per i tipi della Donzelli, Tempi storici, tempi biologici (2001, 2005) e Che cos'è lo sviluppo sostenibile? (1999, con Nadia Marchettini).

Brani di Enzo Tiezzi www.istruzioneecles.it/STXUpload/CHECOSELENTROPIA1.pdf

Cos'è l'entropia

La prima legge della termodinamica si occupa solo del bilancio generale dell'energia e ci dice che questa non può essere né creata né distrutta. La seconda legge, invece, si occupa dell'uso dell'energia, della sua disponibilità a compiere lavoro e della sua tendenza in natura ad andare verso forme degradate, inutili, non più utilizzabili. Ciò che diminuisce nel mondo non è l'energia, ma la sua capacità a compiere lavoro. Da questo punto di vista ha ragione Einstein a considerare la seconda legge della termodinamica come la legge fondamentale della scienza; ha ragione **Commoner** a definirla come la nostra più profonda intuizione scientifica sul funzionamento della natura; ha ragione, infine, C. P. Snow ad affermare (in *Le due culture*) che non conoscere il significato del secondo principio della termodinamica è come ammettere, in termini culturali, di non aver letto nemmeno un'opera di Shakespeare.

Molti assumono il 1944 come data di inizio della biofisica, quando Erwin Schrödinger, premio Nobel per la fisica, padre fondatore della meccanica quantistica, pubblicò le sue lezioni di Dublino sui problemi biologici in *Che cos'è la vita?*

Qui riporto, di seguito, il testo di Schrödinger che introduce il concetto di "neghentropia", sottolineando, laddove ce ne fosse bisogno, che ovviamente si tratta di una variazione negativa di entropia a partire da un valore originario (la nascita dell'individuo, l'origine della vita, l'inizio dell'evoluzione biologica) e non di entropia negativa in assoluto, dato che per il terzo principio della termodinamica non può esistere un'entropia minore di zero.

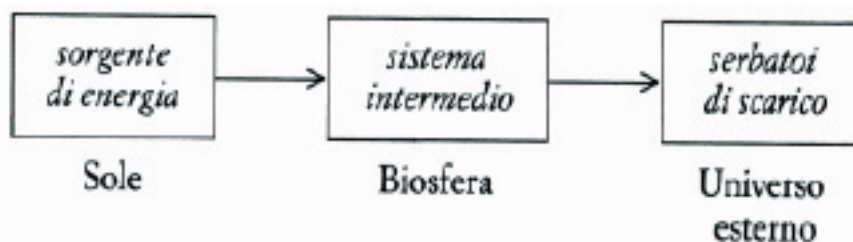
Come possiamo esprimere in termini di teoria statistica la meravigliosa facoltà di un organismo vivente, mediante la quale esso ritarda il raggiungimento dell'equilibrio termodinamico (morte)? Abbiamo detto [...]: l'organismo si alimenta di entropia negativa, attraendo su di sé un flusso di entropia negativa per compensare l'aumento di entropia che esso produce vivendo, con il che riesce a mantenersi a un livello di entropia stazionario notevolmente basso.

"Quando Schrödinger dice che l'organismo si ciba di neghentropia - sottolinea Morowitz - egli vuoi semplicemente significare che la sua esistenza dipende dall'incremento dell'entropia del resto dell'Universo".

Questo è valido sia per i sistemi termodinamici aperti (gli organismi viventi) sia per sistemi termodinamici chiusi (il pianeta Terra, almeno in prima approssimazione), mentre non è valido ovviamente per sistemi termodinamici isolati, destinati alla "morte termica" per aumento di entropia.

Nell'asserzione di Schrödinger sta il segreto dell'origine della vita sulla Terra, la storia dell'evoluzione biologica, una storia che ha un protagonista: la fotosintesi, il "talismano verde" del prossimo capitolo. E la storia di un pianeta particolare che ha imparato a catturare l'energia solare e a nutrirsi di neghentropia dall'Universo per creare le strutture ordinate e dissipative che sono gli organismi viventi.

Consideriamo lo schema dovuto a Morowitz:



La superficie della Terra (sistema intermedio) riceve dalla sorgente solare un flusso di energia originalmente a 5800°K (questa è la temperatura della superficie solare; l'interno del Sole è milioni di gradi più caldo) e lo restituisce allo spazio esterno (serbatoio di scarico) a 3°K: in questo enorme intervallo di temperature sta il segreto della vita e la possibilità di un lavoro che previene la tendenza verso l'equilibrio entropico muovendo il sistema vivente sempre indietro, lontano dall'equilibrio, verso stati ordinati, neghentropici, vivi. Il sistema vivente viene mantenuto dal flusso di energia E, in uno "stato stazionario", il più lontano possibile dall'equilibrio. La diminuzione di entropia nella biosfera dipende dalla capacità di

catturare energia dal Sole e di reirradiarla nello spazio esterno sotto forma di energia infrarossa. Se questo secondo processo fosse impedito, cioè se il Pianeta fosse avvolto da una membrana adiabatica (effetto serra), tutti i processi viventi cesserebbero di esistere in tempi bravissimi e il sistema decadrebbe verso lo stato di equilibrio, cioè verso la morte entropica. Un serbatoio di scarico è necessario alla vita tanta quanto una sorgente di energia! Sottolinea ancora Morowitz:

Tutti i processi biologici dipendono dall'assorbimento dei fotoni solari e dal trasferimento di calore ai serbatoi celesti [celestial sinks]. Il Sole non sarebbe una sorgente di neghentropia, se non ci fosse un serbatoio di scarico per il flusso dell'energia termica. La superficie terrestre rimane a energia totale costante, reirradiando tanta energia quanta ne prende. La sottile differenza è che non è l'energia di per sé che fa continuare la vita, ma il flusso di energia attraverso il sistema. Il sistema ecologico globale, cioè la biosfera, può essere definito come quella parte della superficie terrestre che viene ordinata da un flusso di energia, tramite i processi fotosintetici.

Il secondo principio della Termodinamica, una delle fondamentali leggi della natura, **indica le strade da evitare** perché la vita sulla Terra possa continuare ad esistere. In particolare evidenzia la tendenza universale ineluttabile verso il disordine (in termodinamica, la tendenza verso la massima entropia), che è anche perdita dell'informazione e della disponibilità di energia utile. Questa tendenza, chiamata da Clausius la "morte termica", porta al cosiddetto "equilibrio termodinamico", che è appunto la morte dei sistemi biologici e degli ecosistemi, attraverso la distruzione delle diversità.



Barry Commoner da Wikipedia

Born May 28, 1917 (1917-05-28) (age 90)

Brooklyn, New York, United States

Education Columbia University
Harvard University

Occupation Biologist

Four Laws of Ecology

One of Commoner's lasting legacies is his four laws of ecology, as written in *The Closing Circle* in 1971. The four laws are:

1. Everything is Connected to Everything Else. There is one ecosphere for all living organisms and what affects one, affects all.
2. Everything Must Go Somewhere. There is no "waste" in nature and there is no "away" to which things can be thrown.

3. Nature Knows Best. Humankind has fashioned technology to improve upon nature, but such change in a natural system is, says Commoner, "likely to be detrimental to that system."

4. There Is No Such Thing as a Free Lunch. In nature, both sides of the equation must balance, for every gain there is a cost, and all debts are eventually paid.

Writings

- * *Science and Survival*. New York : Viking, 1966.
- * *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*. New York : Knopf, 1971.
- * *The Poverty of Power: Energy and the Economic Crisis*. New York : Random House, 1976.
- * *The Politics of Energy*. New York : Knopf, 1979.
- * *Making Peace with the Planet*. New York : Pantheon, 1990.

“La Povertà del Potere”

Garzanti 1976 pag 50-53

(Esempio riguardante l'efficienza del secondo ordine)

Consideriamo un esempio ben noto: la quantità di calore che viene sprecata quando una caldaia con bruciatore a gasolio viene utilizzata per inviare calore ad una casa da riscaldare. Un modo per calcolare questa efficienza è basato sul primo principio della termodinamica il quale ci dice che l'energia prodotta bruciando una data quantità di combustibile deve essere conservata durante il passaggio dalla caldaia alle stanze. Pertanto, la quantità di energia perduta è uguale alla differenza fra l'energia prodotta nella caldaia e quella che raggiunge le stanze. (La differenza può rappresentare il calore che viene perduto attraverso il camino o attraverso la casa durante il percorso.) Questa efficienza del «primo ordine» può quindi essere espressa mediante il rapporto tra la quantità di calore che raggiunge le stanze e la quantità di calore che è stata prodotta bruciando il gasolio.

Il calcolo di queste efficienze è stato a lungo trascurato da tutti eccettuati i tecnici del riscaldamento e solo negli ultimi anni, quando ha cominciato a farsi pressante la necessità di risparmiare combustibile, questi dati hanno incominciato ad apparire sulla letteratura tecnica sempre più frequentemente. In ogni caso, l'efficienza di una caldaia calcolata in questo modo è abbastanza buona. L'efficienza media di un bruciatore a gasolio utilizzato per rifornire con aria calda a 43° C una casa quando la temperatura esterna è di 0° C è di circa il 60-65%.

Questo fa pensare che vi sia ancora un margine per un miglioramento ma non di grande entità; anche se il sistema avesse un'efficienza del 100% (cosa impossibile in pratica), la quantità di combustibile usato sarebbe ridotta solo del 40% o meno ancora.

Quasi tutte le stime correnti sui possibili risparmi di energia sono eseguite in questo modo, impiegando il primo principio per trovare dove va perduta l'energia e per tamponare alcune almeno di queste perdite. Il risparmio possibile non supera il 30-35 %.

Tuttavia, il primo principio, come abbiamo visto, è solo la prima pietra dell'intero edificio della termodinamica che trova nelle sottigliezze del secondo principio uno strumento rivelatore più efficace. Il secondo principio ci ricorda che di per sé l'energia non ha valore a meno che non sia usata per produrre lavoro fluendo da un punto in un altro; che ogni attività umana, anche riscaldare una casa, richiede lavoro; che il valore dell'energia viene misurato dal lavoro che può eseguire; che l'efficienza con la quale viene sfruttata l'energia deve essere misurata in base alla differenza tra la quantità di lavoro disponibile effettivamente usato per una determinata attività e la quantità minima di lavoro che tale attività richiede.

Questi precetti basilari definiscono l'efficienza «del secondo ordine» proposta nello studio dell'American Physical Society (APS) citato prima.⁸ Per calcolare questa efficienza, si inizia determinando la quantità minima di lavoro che è necessaria per realizzare un determinato scopo, nel nostro caso riscaldare una casa fornendo aria a 43°C quando all'esterno la temperatura è di 0°C. Il secondo passo è quello di calcolare il lavoro che è disponibile nella quantità di energia che viene effettivamente usata per raggiungere lo scopo, nel nostro caso il lavoro disponibile che viene consumato quando viene bruciato il gasolio e il calore è trasferito nelle stanze. L'efficienza calcolata in base al secondo principio è il rapporto tra queste due misure o (per citare lo studio dell'APS) «---l'efficienza è uguale al rapporto tra il minimo lavoro disponibile in grado di ottenere lo scopo e l'effettivo lavoro disponibile impiegato per ottenerlo realmente».

Quando si calcola questa efficienza del secondo ordine per il sistema del bruciatore si trova 8,2%. In base al primo principio il bruciatore spreca poco meno della metà dell'energia che impiega; in base al secondo principio spreca invece quasi tutta l'energia e utilizza soltanto l'8% del lavoro reso disponibile da questa energia. Il secondo principio dimostra quindi che vi è un margine di risparmio ben più grande di quello indicato dal primo principio.

In un certo senso, i due procedimenti affrontano problema dell'efficienza da due versanti opposti. L'approccio secondo il primo principio accentra il suo interesse sul contenuto energetico del combustibile e calcola quanto di esso non riesce a raggiungere la sua destinazione, cioè le stanze, trascura eventuali metodi alternativi per riscaldare la casa e si occupa soltanto del buon funzionamento di quel particolare metodo. L'approccio in base al secondo principio accentra il suo interesse sullo scopo e determina quanto lavoro è necessario per raggiungerlo; quindi determina quale tra i metodi per raggiungere lo scopo è quello che consente di compierlo con la minor quantità di lavoro. L'approccio in base al secondo principio rappresenta la migliore definizione di quella qualità di una sorgente energetica che ne costituisce il valore, cioè il lavoro con essa realizzabile. E' questa quantità che, a differenza dell'energia, viene sempre consumata, e l'efficienza di secondo grado serve appunto a cercare di scoprire il modo di consumare il meno possibile per raggiungere lo scopo.

Si viene così a scoprire che il modo più efficiente per riscaldare una casa non è bruciare combustibile ma

utilizzarlo per far funzionare una specie di frigorifero. Nella sua versione domestica un frigorifero è un motore termico che usa lavoro meccanico (il lavoro di una pompa, mossa da un motore, che agisce su un gas comprimibile) per costringere il calore a fluire da un punto più freddo (l'interno del frigorifero) ad un punto più caldo (la cucina).

Lo stesso tipo di apparecchio (che ora chiameremo pompa di calore) può essere usato per portare calore in una casa calda estraendolo dall'esterno più freddo. La pompa di calore raffredda l'esterno allo scopo di riscaldare la casa, così come il frigorifero riscalda la cucina allo scopo di raffreddare il suo interno. Il lavoro di Carnot ci ricorda peraltro che il motore usato per far funzionare la pompa di calore, per esempio un motore diesel, non può trasformare tutta l'energia del suo combustibile in lavoro meccanico, dato che parte di essa vien dispersa nell'ambiente sotto forma di calore. Poiché questo calore di scarto si trova ad una temperatura relativamente bassa, può essere usato per contribuire al riscaldamento della casa (attraverso un adatto scambiatore di calore). In accordo con lo studio dell'APS, con una disposizione di questo tipo un impianto di riscaldamento casalingo a motore diesel e pompa di calore può fornire una efficienza del secondo ordine di circa il 20%. Si tratta di un miglioramento di oltre il doppio rispetto ad una caldaia tradizionale, una cosa impossibile se l'efficienza fosse, come indica il primo principio, del 65%.



Vediamo le idee del fisico teorico Luigi Sertorio
«per cercare le radici del pensiero che vorremmo vedere nel futuro» (Storia dell'abbondanza pag. 67)

«Come mai lo studio scientifico della dinamica dell'ecosistema Terra non nacque con Galileo? Una risposta facile è che Galileo era in polemica con gli aristotelici, e la fisica aristotelica era qualitativa e, appunto, terrestre. Galileo doveva sganciarsi da questa scienza del macroscopico, dove l'esperimento era sostituito dall'evidenza dei sensi. La fisica aristotelica solo apparentemente era vicina al modo di vedere i fenomeni macroscopici e complessi che

esiste oggi. Era giusto che Galileo si contrapponesse agli aristotelici ed era giusto che Galileo scartasse i fenomeni dissipativi, che erano un impedimento per la ricerca essenziale sulle interazioni gravitazionali.

La ricerca della eliminazione dell'attrito per Galileo non è un dettaglio tecnico, è un problema molto serio di cui tratta in molti scritti. Galileo capiva benissimo che così facendo si escludeva l'altra metà dei fenomeni della natura, i sistemi aperti contrapposti ai sistemi isolati.» (pag. 67)

«Ora lo studio dei sistemi aperti, che è praticato normalmente in altre discipline, (la cellula è un sistema aperto, ha un metabolismo, è sede di un flusso fisico-chimico), è venuto, ma è venuto tardissimo nella fisica, è cosa degli ultimi decenni.

Non si può certo dare la colpa a Galileo (per così dire) se la capacità formale della fisica di affrontare lo studio delle dinamiche dei sistemi aperti arriva oltre 300 anni dopo la pubblicazione del Dialogo. Anzi, è tornando a meditare sul pensiero di Galileo che si capisce come i primi passi che si stanno facendo oggi verso una formalizzazione rigorosa della dinamica dell'ecosistema sono la riunzione delle due parti della grande architettura della Natura, che erano state coscientemente e momentaneamente separate da Galileo. La fisica, la chimica e la biologia dell'ecosistema fino ad oggi si sono sviluppate quasi sempre separatamente in modo piuttosto rudimentale. Prima di tutto, perché la ricerca del microscopico era più allettante, più pressante per ciascuna delle tre discipline. In secondo luogo, perché alcuni concetti fondamentali nello studio dell'ecosistema implicano la comprensione congiunta di fisica, chimica e biologia.» (pag. 67-68)

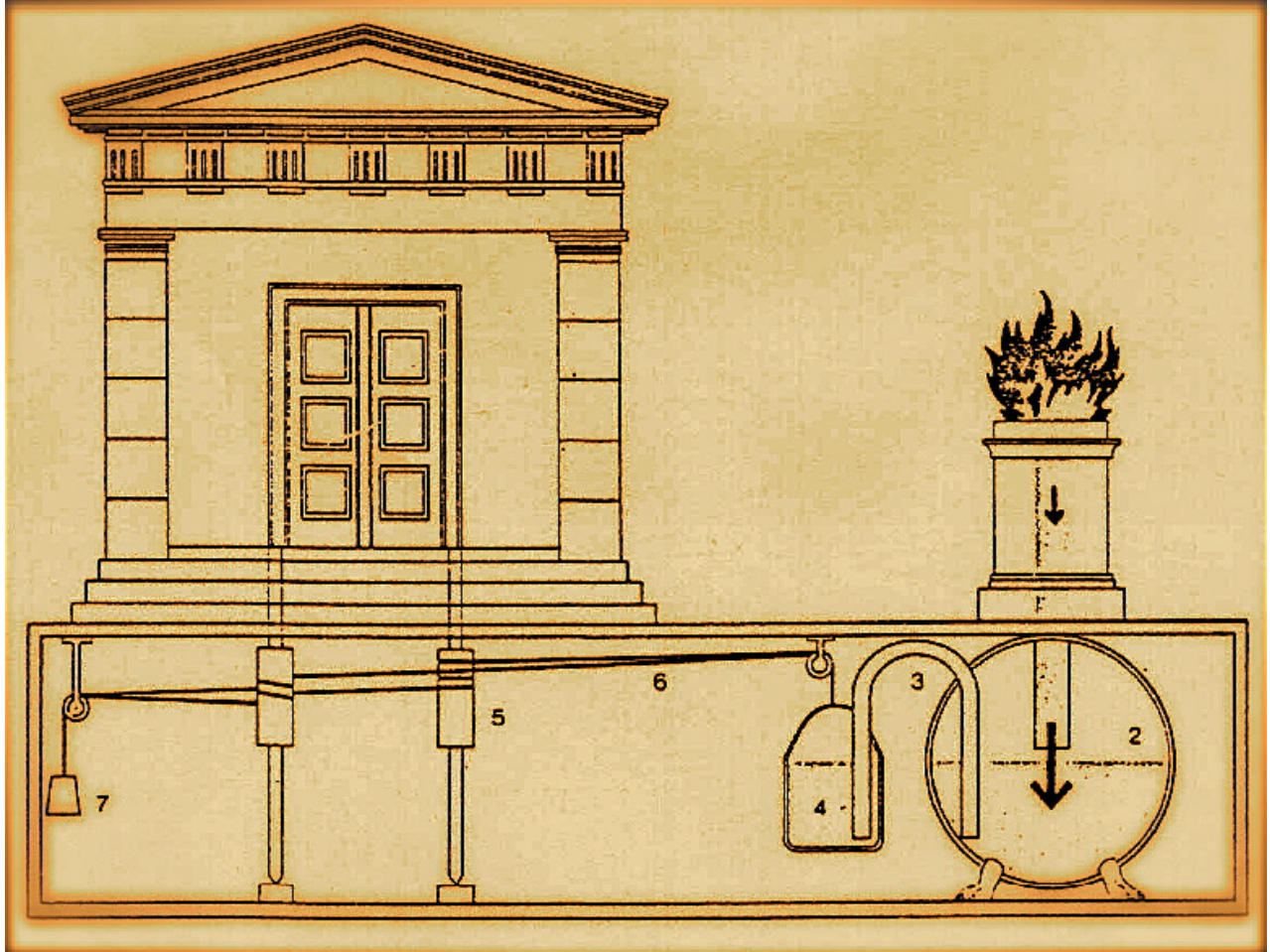
«Nella scienza dell'ecosistema è necessario un passo cruciale di conquiste sperimentali, un susseguente salto qualitativo, formale, affinché la teoria possa decollare. A questo punto potrà iniziare un tentativo di riavvicinamento dei tre universi del pensiero, che è l'oggetto di queste meditazioni. Direi che i passi più importanti nell'ambito della scienza dell'ecosistema devono ancora venire. Siamo al livello di Copernico ma non ancora di Galileo.» (pag. 68-69).



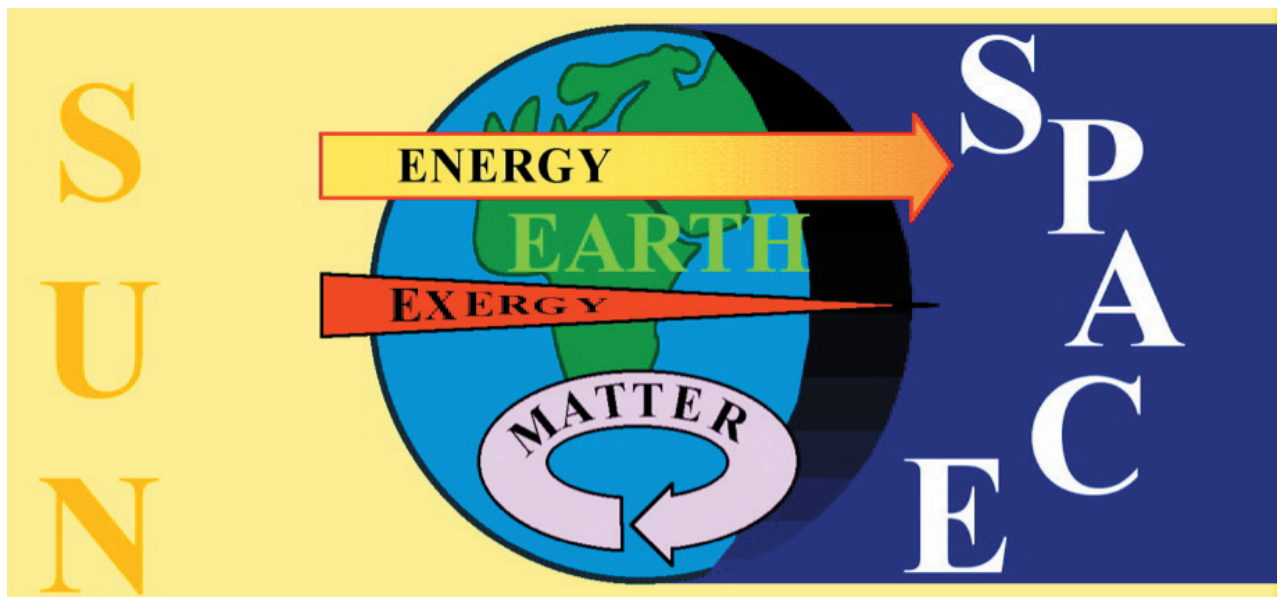
Da Erone all'Exergia

Storia, fondamenti e attualità della termodinamica

Strategie per una didattica generalizzata e spunti di eco-fisica



La "potenza motrice del fuoco", applicata da Erone d'Alessandria, per l'apertura delle porte di un tempio, nel I sec. d.c.



Stato stazionario di potenze tipiche

L'intero pianeta Terra è risorsa per la vita umana. Le proprietà inorganiche, cioè quelle puramente fisiche e chimiche, non possono essere separate nettamente dalle proprietà biologiche. Un organismo morto decade e dopo un po' di tempo tutte le sue molecole tornano a ubbidire unicamente alle leggi della fisica. Poi la fotosintesi le rimette in vita. La biosfera (l'insieme di tutti gli esseri viventi) ha incominciato a esistere oltre 3,5 miliardi di anni fa ed è viva tuttora; ed è un complicatissimo organismo che interagisce con la dinamica inorganica.

Nel nostro sistema solare la formazione dei pianeti risale approssimativamente a 4,5 miliardi di anni fa. Poi, nel caso della Terra avviene che le caratteristiche della sfera inorganica siano favorevoli all'esistenza di un qualche tipo di vita, all'inizio non fotosintetica, in seguito fotosintetica. La vita fotosintetica ricava energia dal flusso solare e può allora diventare una dinamica ciclica di notevolissima potenza, circa un centesimo del flusso solare entrante. Le condizioni chimiche favorevoli non ci furono né su Marte né su Venere, che pur ricevono un flusso solare quasi identico a quello della Terra. Questo significa che non basta appartenere alla stessa stella, avere orbite simili, nascere per accrezione dalla stessa massa gassosa d'origine, per avere le stesse condizioni favorevoli alla vita; ci vuole molto di più. Definire cosa sia questo di più, e spiegare come mai la Terra ce l'abbia e gli altri pianeti no, è un problema difficilissimo, non del tipo «particelle fon-

damentali», ma del tipo «complessità fondamentale». È ciò che si chiama «ecofisica».

Posto che la Terra era «buona» in partenza, essa non è però rimasta sempre uguale a quella che era allora, per cui studiando la parte inorganica della Terra oggi non si può dire «sappiamo cosa vuol dire pianeta buono in assoluto». Si può dire all'opposto che lo sviluppo degli organismi viventi ha interagito con la parte inorganica formando lo stato dinamico attuale. Questo è un concetto molto sottile. Lo sviluppo della vita non cambia la massa della Terra, non cambia il numero totale di elettroni e nuclei. Tuttavia è uno stato di disequilibrio termodinamico sostenuto. Quindi cambia la termochimica. La vita occupa uno strato sottile della superficie sferica, un po' di crosta solida, un po' di mare, un po' di atmosfera; per cui penetrando verso il centro della Terra si trova il pianeta puramente inorganico evolutosi unicamente in base alle leggi fondamentali della fisica, senza interazioni con la biosfera. In modo analogo, se ci si allontana dall'atmosfera terrestre si trova il quasi vuoto astrofisico non influenzato dall'avvento della vita sulla Terra. Insomma la biosfera sta come sospesa tra i fotoni solari e il vuoto cosmico.

La prima domanda che viene in mente è se la vita sulla Terra possa formare una biosfera globale con dinamica stazionaria. La domanda è semplice ma la risposta è complessa. Possiamo limitarci a citare alcune valutazioni di potenze globali che sono frutto di una paziente collezione di dati sperimentali. Poi la teoria farà, e sta già facendo, grandi sforzi per capire questi dati.

Nota Usiamo questa nomenclatura:

FLUSSO Quantità diviso tempo. Per esempio: flusso d'acqua in litri al secondo; flusso di energia in joule al secondo, cioè watt.

DENSITÀ DI FLUSSO Quantità diviso tempo e superficie. Per esempio: litri al secondo al metro quadrato; densità di flusso di energia in joule al secondo al metro quadrato, cioè $\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$.

1) Il flusso termico endogeno totale della Terra è dato da

$$\phi_{\text{endogeno}}^{\text{totale}} = \bar{\phi}_{\text{endogeno}} S$$

dove S è la superficie della Terra e $\bar{\phi}_{\text{endogeno}}$ è la densità di flusso di calore medio per metro quadrato.

$\bar{\phi}_{\text{endogeno}}$ si misura, e anche S si misura. Si trova che

$$\bar{\phi}_{\text{endogeno}} \cong 0,087 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

$$S = 5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$$

e quindi

$$\begin{aligned} \phi_{\text{endogeno}}^{\text{totale}} &\cong 0,087 \times 5,1 \times 10^{14} \text{ watt} = \\ &= 4,44 \times 10^{13} \text{ watt} \end{aligned} \quad (1)$$

2) La potenza della biosfera può anche essere valutata sperimentalmente. Si procede così. Si valuta l'ammontare di biomassa nata (e morta) in un anno su tutta la Terra. Naturalmente si devono fare semplificazioni, ossia si considerano delle rese tipiche per chilometro quadrato e poi si somma. La biochimica sa dire qual è l'energia necessaria per sintetizzare una molecola di carboidrato, il cui peso è noto. I carboidrati sono le molecole di gran lunga più abbondanti negli esseri viventi fotosintetici. Se chiamiamo e l'energia (in joule) necessaria per fare una molecola di carboidrato e N il numero di molecole formate (che ovviamente è proporzionale alla biomassa,

$$N = \frac{\text{massa totale}}{\text{massa di una molecola}} \text{) si ha}$$

$$\phi_{\text{biomassa}} = \frac{e \cdot N}{\text{anno}} \cong 10^{15} \text{ watt} \quad (2)$$

I calcoli del tipo (2) sono piuttosto recenti; è stato prima necessario capire come funziona il motore della fotosintesi, il ciclo di Calvin.

3) Infine la terza valutazione cruciale è la potenza portata dal flusso dei fotoni solari che intercettano la Terra, o più precisamente l'emisfero esposto al Sole (cambia sempre perché la Terra ruota su se stessa, ma la sua superficie è sempre

CAPITOLO SECONDO

uguale). Questa valutazione si fa con strumenti posizionati all'esterno dell'atmosfera, palloni o satelliti artificiali; si trova

$$\phi_{\text{solare}} = \varphi_{\text{solare}} \cdot \frac{S}{4} \quad \dim \varphi = \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

dove φ_{solare} è la «costante solare», $\varphi_{\text{solare}} = 1366 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$, e $\frac{S}{4}$ è l'area del cerchio massimo della Terra.

Il risultato è:

$$\phi_{\text{solare}} \cong 1,74 \times 10^{17} \text{ watt} \quad (3)$$

Delle tre misure la (3) è la più precisa, seguita dalla (1) e infine dalla (2).

È molto interessante osservare che la potenza della biosfera è circa cento volte più grande della potenza del flusso endogeno e cento volte più piccola della potenza del flusso solare. È chiaro che esiste un'armonia fra questi tre flussi che, insieme, sono una proprietà fondamentale della Terra.

Pagine (17-20) tratte dall'ultimo libro di Luigi Sertorio ed Erika Renda
 “Cento Watt per il prossimo miliardo di anni” (Boringhieri 2008)

Nota: Sertorio è uno degli autori di cui io mi avvalgo anche se non segue il filone exergetico, Infatti a pagina 78 del libro su citato afferma

«La potenza del ciclo dei venti è spiegabile teoricamente con il concetto di available work, o availability o exergy. Quest'ultimo è un nome di moda ma è inopportuno perchè fa pensare ad un quarto termine da aggiungere al trinomio che esprime il primo principio della termodinamica: energia interna, calore lavoro. L'availability è formata dai tre termini ortodossi ed esprime il concetto di lavoro estraibile quando c'è una situazione di disequilibrio»

Invece è recentissimo (2007) un articolo sulla storia dell'exergia che non parrebbe lasciare spazio a dubbi sulla opportunità di quel termine, coniato nel 1956 dall'ingegnere sloveno Zoran Rant ed oramai quasi universalmente adottato negli studiosi più avanzati di termodinamica. Gli autori dell'articolo sono l'ingegnere italiano Enrico Sciubba (1949) docente all'Università “La Sapienza” a Roma ed il fisico svedese Goran Wall (1951) ricercatore indipendente.

Quest'ultimo ha un sito internet, <http://www.exergy.se/> zeppo di materiali sull'exergia e al quale ho rubato l'immagine Sun_Earth_Space sopra pubblicata. Dati sull'articolo e gli autori.

Int. J. of Thermodynamics ISSN 1301-9724 Vol. 10 (No. 1), pp. 1-26, March 2007 http://www.icasweb.org/vol10/10.1/007_001_026_SCIUBBA_70514.pdf

A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004

Enrico Sciubba* Dept. of Mechanical & Aeronautical Engineering University of Roma 1 “La Sapienza” Roma, Italy enrico.sciubba@uniroma1.it
 Goran Wall Independent Researcher Exergy-SE, Molndal, Sweden gw@exergy.se

Vediamo ora alcuni stralci del “paper” di Sciubba e Wall.

Di notevole interesse risultano già alcune affermazioni contenute nell’abstract.



“This paper presents a brief critical and analytical account of the development of the concept of exergy and of its applications. It is based on a careful and extended (in time) consultation of a very large body of published references taken from archival journals, textbooks and other monographic works, conference proceedings, technical reports and lecture series. We have tried to identify the common thread that runs through all of the references, to put different issues into perspective, to clarify dubious points, to suggest logical and scientific connections and priorities.



Questo documento presenta una breve critica e una spiegazione analitica dello sviluppo del concetto di exergia e delle sue applicazioni. Esso si basa su una attenta ed estesa (nel tempo)

consultazione di un ampio corpus di riferimenti pubblicati presi da riviste di archivio, libri di testo e altre opere monografiche, di atti di congressi, rapporti tecnici e serie di conferenze. Abbiamo cercato di identificare il filo comune che attraversa tutte le referenze, a mettere le diverse questioni in prospettiva, per chiarire i punti discutibili, a suggerire collegamenti logici e scientifici e le priorità.

The article is organized chronologically and epistemologically: it turns out that the two criteria allow for a quite clear systematization of the subject matter, because the development of the exergy concept was rather “linear”. This work is addressed to our Colleagues who are involved in theoretical research, industrial development, and societal applications of exergy concepts: if they extract from this article the idea of an extraordinary epistemological uniformity in the development of the concept of exergy, our goal will be achieved.

*L’articolo è organizzato **cronologicamente e epistemologicamente**: risulta che i due criteri consentono una chiara sistematizzazione della materia, in quanto lo sviluppo del concetto di exergy è stato piuttosto “lineare”. Questo lavoro è indirizzato ai nostri colleghi che sono impegnati nella ricerca teorica, nello sviluppo industriale, e nelle applicazioni sociali dei concetti di exergia: se ricavano da questo articolo l’idea di una straordinaria uniformità epistemologica nello sviluppo del concetto di exergia, il nostro obiettivo sarà raggiunto.»*

Continua traduzione

1. Introduzione

1.1 Perché questo scritto

Questo documento nasce da una riflessione molto semplice: nell’anno 1970, sono stati pubblicati circa 50 articoli sull’exergia (allora si chiamava “Available Energy” negli Stati Uniti e in “Arbeitsfähigkeit” o “Exergie” in Germania) in riviste di archiviazione o presentati a workshop e conferenze; nel 2004, il numero ha di gran lunga superato 500. Tutte le principali correnti Energia Engineering Journals pubblicano in media 1 o 2 articoli sull’exergy e i relativi concetti in ogni settore: dal 2000 vi è un giornale internazionale di Exergy, che gode anche di fronte a concorrenti più forti, un soddisfacente numero di abbonati e autori. Molti studenti laureati usano l’analisi di exergy nelle loro opere, e i metodi classici di exergy evolvono molto creativamente. Ogni serio manuale di Termodinamica dedica almeno un intero capitolo a questo argomento, e la Termo-Economia (così fortemente legata alla exergy da essere talvolta chiamato “Exergo - Economia”) è un argomento di monografie proprie. Infine, e soprattutto da un punto di vista di ingegneria, industriali e istituzionali responsabili politici hanno iniziato l’adozione exergy come base per la loro pianificazione energetica. Abbiamo verificato che non vi è stato esauriente importanza storica dello sviluppo di questo importante concetto e delle sue applicazioni: la maggior parte dei moderni libri di termodinamica contiene brevi schizzi sulla linea di pensiero che ha portato alla introduzione del concetto di “energia disponibile” o “massimo lavoro potenziale”, ma queste note sono infatti troppo brevi per fornire agli studiosi interessati una completa impressione della sequenza molto istruttiva dei singoli passi che hanno portato dal riconoscimento che “la generazione di forza motrice non richiede un consumo di calorico, ma piuttosto il suo trasporto da un corpo caldo a un corpo freddo” (Carnot, 1824) alla dichiarazione “I sistemi viventi prosperano sull’exergia (Wall 1997). Un recente documento di Rezac & Metgalchi (2004), dopo aver dato una dettagliata analisi della nascita del termine “exergy”, si concentra su alcune presenti controverse questioni nel tentativo di risolverle, e quindi non prevede una discussione di estrema importanza e l’interessante serie di dibattiti che hanno condotto dai “seminali anni” (fondamentalmente, e un po’ schematicamente, quelli prima il 1960) alla notevole maturità del exergy concetto (grosso modo, dall’inizio degli anni 1990).

In questa “breve storia commentata” il nostro obiettivo primario è quello di fornire ai lettori un’idea chiara dell’importanza dei singoli contributi nel percorso che ha portato dalla teoria del calorico alle odierne applicazioni di exergy nel campo della conversione dell’energia, nei processi di ottimizzazione, nelle diagnostica e gestione, nell’analisi di Very Large Complex Systems (VLCS), nelle tecnologia dell’informazione e nella analisi di sostenibilità. Noi cerchiamo di fare questo in due modi: una ricerca bibliografica molto accurata, che non trascura nessuno dei principali contributi al settore, e una revisione critica di ogni fonte, in un costante tentativo di mettere le cose nella giusta prospettiva, per descrivere questo sviluppo come la combinazione evolutivistica di diversi “fili” che uniscono in una ben organizzata teoria sistematica per un po’ (?), poi ramificata in direzioni diverse, talvolta convergenti, di nuovo in una fase successiva.

1.2 Contenuti e limiti di questo scritto

Questo lavoro si basa sui riferimenti elencati nella bibliografia ampliata, che comprende le opere e di archiviazione e gli atti delle maggiori conferenze pubblicati prima del 31 dicembre 2004¹. In tutti i casi nei quali un documento è stato pubblicato prima negli Atti di una Conferenza, e poi - sotto lo stesso titolo - in

un Journal, noi citiamo qui il Journal reference. Anche se ogni sforzo è stato fatto per includere citazioni originali, in alcuni dei “classici” riferimenti (ad esempio, Carnot, Gibbs, Maxwell) abbiamo dovuto basare il nostro lavoro su edizioni rivedute e / o traduzioni. Inoltre, tutte le opere originariamente pubblicato in lingue diverse inglese, francese, tedesco, italiano e svedese erano accessibili a noi solo attraverso la traduzione inglese. Ove possibile, i punti oscuri o controversi di tutte le pubblicazioni apparse tra il 1950 e 2004 sono stati discussi con gli autori: ovviamente, la responsabilità di aver riunita la corretta interpretazione resta interamente nostra. La bibliografia può apparire leggermente sbilanciato verso pubblicazioni nei settori di Ingegneria Meccanica, sistemi di conversione di energia e Gestione di risorse: è davvero così, perché la nostra familiarità con altri settori in cui Exergy Analisi è applicata anche (come Chimica, Fisica Applicata, e di Biochimica per esempio), è - purtroppo - piuttosto limitata. L'enorme portata della lista dei Riferimenti di exergy rende inadatti alla diretta inclusione in un documento come questo: quindi, noi abbiamo adottato un diverso, anche se meno facile, approccio: la lista completa dei riferimenti è contenuta in un file. pdf disponibili online sotto www.icatweb.org/vol10/10.1/Sciubba-Wall.pdf
http://www.icatweb.org/vol10/10.1/007_001_026_SCIUBBA_70514.pdf (testo articolo)

1.3 La moderna definizione di exergy

L'Exergia è definita come il massimo lavoro teorico utile ottenuto se un sistema S è messo in equilibrio termodinamico con l'ambiente per mezzo di processi in cui la S interagisce solo con questo ambiente. Questo è una ripresa di un concetto che era chiaro sin dall'inizio: già la “funzione disponibilità” di Gibbs (si veda la sezione 2) ha avuto la particolare proprietà di rappresentare il “lavoro liberamente disponibile”. Poiché ci sono molteplici forme in cui i flussi di energia si presentano in natura, ci sono diversi corrispondenti forme di exergia. La maggior parte comunemente utilizzati sono riportati nella tab. I.

Il significato fisico della sottostante “Tabella di equivalenza” è chiaro:

- L'energia cinetica di un sistema viaggia ad una velocità V con riguardo ad un sistema di riferimento Galileiano può essere in principio del tutto recuperati in qualsiasi altra forma: potenziale (il pendolo ideale); calore (attrito del freno), meccanico (impulso turbina); elettrica (effetto piezoelettrico).
- Lo stesso vale per l'energia potenziale gravitazionale e di tutte le forme di energia relative al movimento in una campo di forza conservative.
- lavoro meccanico ed energia elettrica possono anche essere liberamente reciprocamente convertiti.
- L'energia chimica non può essere interamente trasformata in lavoro meccanico: il massimo “lavoro”, che siamo in grado di estrarre da un sistema composto da una singola sostanza pura dipende non solo dalla entalpia chimiche di formazione di tale sostanza, ma anche dalla differenza tra la sua concentrazione nel sistema e l'ambiente di riferimento.
- Il calore è la forma di flusso energia “meno disponibile”: la parte che può essere trasformata in lavoro dipende sia dalla temperature del sistema (T_q) e della temperatura di riferimento (T_0). Pertanto, trascurando per il momento l'energia elettrica (3), per un sistema aperto S individuato dai parametri termodinamici T_1 , p_1 , μ_1 , V_1 , z_1 che può interagire solo con una ambiente di riferimento B a T_0 , p_0 , V_0 , z_0 e in cui la concentrazione della sostanza 1 è c_0 , lo specifiche contenuto di exergy, in J/kg di peso, è una funzione data da:

$$e_1 = h_1 - h_0 + \frac{V_1^2 - V_0^2}{2} + g(z_1 - z_0) + \Delta g_{1,0} + RT_0 \ln \left(\frac{c_1}{c_{1,0}} \right) - T_0(s_1 - s_0) \quad (1)$$

TABLE I. SPECIFIC EXERGY CONTENTS OF DIFFERENT ENERGY FLOWS

Type of energy flow	Specific energy	Specific exergy	Source	Notes
Kinetic	$0.5V^2$	$0.5V^2$	/	J/kg; follows from definition
Potential	$g\Delta z$	$g\Delta z$	/	J/kg; follows from definition
Heat	q	$q \left(1 - \frac{T_0}{T_q} \right)$	/	J/kg; follows from definition
Mechanical	w	w	/	J/kg; follows from definition
Electrical ²	$It\Delta V$	$It\Delta V$	/	J; follows from definition
Chemical, pure substance	Δg_G	$\mu - \mu_0 + RT_0 \ln \left(\frac{c}{c_0} \right)$	Wall 1977	$\mu - \mu_0 = \Delta g_G = g_G - g_{G,0}$
Radiation ²	I	$\sigma \left(T^4 - \frac{4T^3T_0}{3} + \frac{T_0^4}{3} \right)$	Petela 1964	W/m^2 ; for black body radiation

Queste informazioni vengono date per completezza, ma qui ci limitiamo alle definizioni intuitive di exergia ed a quella ricavabile immediatamente dal risultato di Carnot. Ricordiamo solo che l'exergia si distrugge e che un sistema in equilibrio con il suo ambiente ha exergia nulla. Vediamo ora stralci di un lavoro didattico molto chiaro anche se “tradizionale” ma allo stesso tempo non molto praticato nelle scuole superiori.

SADI CARNOT E LA QUESTIONE ENERGETICA DEL 2000

BRUNO JANNAMORELLI

Liceo Scientifico "E. Fermi" – Sulmona

<http://gold.indire.it/datafiles/BDP-GOLD0000000000191EEE/Carnot%20e%20la%20questione%20energetica.doc> (qui il testo in integrale)

Premessa

Abbiamo iniziato il 2000 con gli aumenti del prezzo della benzina e con le ordinanze dei sindaci di molte città che vietano l'uso dell'automobile per qualche domenica. Abbiamo vissuto giorni di terrore a causa dei black out elettrici provocati dal funzionamento dei tanti condizionatori d'aria tenuti accesi per il gran caldo estivo. Ci siamo ricordati che esiste una questione energetica legata alla questione ambientale. Si tratta di problemi globali, complessi e controversi ma il nocciolo della questione energetica è l'uso razionale (efficiente e appropriato) dell'energia. È stato migliorato il rapporto tra produzione industriale e consumo di energia, ma persiste la mentalità dello spreco nei consumi energetici individuali (trasporti, usi domestici) anche perché si continua a seguire la strada dell'offerta di energia e non quella della domanda. Non siamo portati a chiederci come coprire il nostro fabbisogno energetico reale ma ad accettare la quantità di energia che il mercato ci offre o ci promette per un prossimo futuro. Una conferma di questo modo di pensare l'abbiamo avuta dall'annuncio dell'avvenuta fusione nucleare a freddo fatto dai due ricercatori americani Fleishman e Pons o dalle notizie riguardanti l'innesco della fusione nucleare per pochi secondi in un laboratorio inglese.

La diffusione di queste scoperte o di altre simili, nonostante lo scetticismo mostrato da molti scienziati, serve a far tirare un sospiro di sollievo all'uomo della strada di tutto il mondo industrializzato: "Finalmente potremo disporre di grosse quantità di energia a buon mercato! Ancora una volta la Scienza ha risolto un problema vitale per l'umanità!". Questo atteggiamento di fiducia nella Scienza è stato ripreso e sbandierato dai mass media rinfocolando così la logica positivista del "disinquinamento" che serpeggia tra i non addetti ai lavori. Si pensa ancora di poter continuare a depredare le risorse del Pianeta senza preoccuparsi troppo delle conseguenze ambientali perché, tanto, la Scienza risolverà ogni problema: ci consentirà di utilizzare grandi quantità di energia e poi penserà anche a disinquinare l'ambiente.

Il mito di Prometeo che ruba il fuoco agli dei continua a sopravvivere. Ma è sicuramente limitativo e perdente, oltre che antiscientifico, cercare di rimediare ai danni del "progresso" negli ultimi cinquanta anni senza sviluppare una progettualità e un nuovo modo di pensare capace di ricomporre un corretto rapporto uomo-natura.

È necessario quindi, oggi più che mai, contribuire a tale cambiamento culturale prima di tutto nelle aule scolastiche. Si tratta di un compito non facile per gli insegnanti di materie scientifiche i quali si ritrovano spesso a proporre una didattica fondata sugli sviluppi interni di tali discipline, in notevole ritardo rispetto ai processi sociali che coinvolgeranno gli studenti dopo il conseguimento del diploma di scuola secondaria superiore. Una possibilità che ha l'insegnante per riconquistare il suo ruolo di formatore di un "nuovo modo di pensare" è quella di presentare la scienza nei suoi aspetti problematici e controversi con un insegnamento critico dei contenuti che vanno sempre inquadrati storicamente e legati alla soluzione di problemi sociali.

.....
.....

Da questo ragionamento per assurdo viene fuori l'enunciato del secondo principio della termodinamica dato da Sadi Carnot: ogni macchina termica reale che operi tra le temperature T_1 e T_2 non può avere, in nessun caso, un rendimento superiore a quello della macchina perfettamente reversibile che ha rendimento

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

È una limitazione imposta agli sforzi dell'artigiano di una volta o all'ingegnere di oggi: il *moto perpetuo* concepito dall'uomo non può esistere in natura. A tal proposito il premio Nobel per la fisica (1946) P.W.Bridgman si è espresso così: "...le leggi della termodinamica hanno un qualcosa di diverso dalla maggior parte delle altre leggi della fisica. Attorno ad esse aleggia un qualcosa di più palpabilmente verbale... si sente di più la loro origine umana".

Ma, invece di discutere di questo limite, che pure va tenuto presente, invece di rimanere imbrigliati nei discorsi sulla morte termica dell'universo, dell'inevitabile aumento dell'entropia (cioè della crescita dell'indisponibilità dell'energia ad essere trasformata in lavoro utile), dell'aumento del disordine, della diminuzione dell'informazione [8], riflettiamo sui risultati di Carnot e sulle ammonizioni da lui rivolte agli artigiani costruttori di macchine.

Come applicare oggi le prescrizioni di Carnot ?

Il primo sforzo per dimostrare come va utilizzato il secondo principio della termodinamica allo scopo di massimizzare l'efficienza dell'uso di energia nei trasporti, nei processi industriali e nel riscaldamento domestico è stato intrapreso negli Stati Uniti nel 1974 (150 anni dopo la pubblicazione delle *Réflexions sur la puissance motrice du feu*). [7]

Perché non ci si è pensato prima? In verità, già i tecnici della fine del secolo scorso avevano cercato di utilizzare le prescrizioni di Carnot nella costruzione delle macchine (ciclo Rankine, ciclo Otto): i motori a combustione interna furono inventati proprio per aumentare il salto termico effettivamente utilizzato dalle macchine, come aveva suggerito Carnot, al fine di migliorare il rendimento di queste. Ma poi si è preferito seguire un'altra strada: la preoccupazione maggiore è stata quella di offrire sul mercato quantità di energia sempre crescenti senza badare troppo a quella che era l'effettiva domanda di energia. Pertanto, un serio risparmio energetico dovrebbe consistere nel cercare di avvicinare l'offerta di energia a quella che è l'effettiva domanda. Se abbiamo bisogno di calore a bassa temperatura per scaldare le nostre case è un grave spreco utilizzare l'energia elettrica che ci viene offerta per alimentare radiatori, stufe o scaldare acqua. E' una *strage termodinamica*: così l'ha definita Barry Commoner. Eppure Carnot era stato categorico nell'affermare: "*La condizione del massimo [rendimento di una macchina termica] è allora che nei corpi impiegati per realizzare la potenza motrice del calore non dovrebbe avvenire nessun cambiamento di temperatura che non sia dovuto a un cambiamento di volume*". ([5] p.17)

In altre parole, è necessario ridurre al massimo i salti di temperatura non utilizzati per compiere lavoro: ogni salto di temperatura disponibile che non viene utilizzato al fine di compiere lavoro rappresenta uno spreco energetico. Proviamo ad elencare alcuni provvedimenti che potremmo prendere per seguire le prescrizioni di Carnot:

1. Le centrali termoelettriche andrebbero costruite nelle vicinanze di impianti industriali che hanno bisogno di calore (es. le raffinerie di petrolio). Il calore di scarto che esce dalle turbine delle centrali potrebbe essere impiegato nelle industrie per tutto l'anno e non solo d'inverno come già avviene in alcune centrali che inviano acqua calda nelle case (teleriscaldamento). Bisognerebbe incentivare la coibentazione delle case, per esempio facendo pagare le tasse sulla casa non in base al numero di vani ma al consumo di energia per il riscaldamento.

La cogenerazione, ossia la produzione combinata di energia elettrica e calore, andrebbe imposta non solo nei grandi impianti industriali ma anche nei condomini. La diffusione di impianti di microcogenerazione comporterebbe un grande risparmio perché l'energia elettrica verrebbe prodotta sul posto di utilizzazione e il calore di scarto servirebbe a riscaldare le abitazioni. Impianti

1. di questo tipo sono stati già prodotti in Italia dalla Fiat utilizzando motori di automobili (TOTEM: Total-Energy-Module), quindi è una tecnologia già disponibile e abbandonata a distanza di qualche anno dalla crisi energetica dei primi anni '70.
2. Si potrebbe imporre gradualmente l'installazione di collettori solari per riscaldare l'acqua o di piccoli aerogeneratori o di celle fotovoltaiche, a seconda delle condizioni climatiche (così come è stata imposta la sostituzione di vecchie caldaie per alimentare gli impianti di riscaldamento domestico).
3. Un piccolo accorgimento sarebbe quello di collegare le lavatrici ai tubi dell'acqua calda in modo da utilizzare l'energia elettrica solo per azionare un motore. In questo modo l'energia elettrica, che è energia nobile, verrebbe impiegata in maniera appropriata.

Un discorso più complesso riguarda le tecnologie dei trasporti. Basti pensare agli usi finali di energia che vengono assorbiti dai trasporti in un paese industrializzato come l'Italia: assorbono circa il 30% del totale dell'energia utilizzata. Se poi consideriamo anche l'energia necessaria per la produzione dei mezzi di trasporto e per la loro collocazione nei punti vendita, un altro 20%, si capisce come la metà dell'energia usata in un paese industrializzato vada destinata ai trasporti per ottenere facilità negli spostamenti ma anche gas di scarico che inquinano l'atmosfera, morti (10000 all'anno in Italia), feriti e danni economici per incidenti stradali. Quando poi scopriamo che il 70% del traffico automobilistico si svolge in città con velocità medie comprese tra i 4 e i 14 Km/h, ci rendiamo conto dell'assurdità di questa tecnologia. Acquistiamo automobili potentissime e poi le usiamo per muoverci in città a velocità paragonabili a quelle dei nostri piedi o delle biciclette. Sicuramente l'automobile non è una tecnologia appropriata, però non possiamo farne a meno. E' una *tecnologia trincerata*, come l'ha definita D. Collingridge [11]: siamo caduti in una trincea e non riusciamo più a venirne fuori. Ma, almeno, tutto questo dovrebbe insegnarci a scegliere nuove tecnologie che presentano la caratteristica di essere flessibili: se ci accorgiamo che una scelta tecnologica è sbagliata, la flessibilità comporta il poter tornare indietro alle stesse condizioni di partenza per correggere gli errori. Sicuramente non è flessibile la tecnologia dell'automobile elettrica perché non è vero che non comporta inquinamenti: sposta semplicemente il problema dalle città alle zone che circondano le centrali termoelettriche. Forse qualcuno sta già pensando di sviluppare questa tecnologia e usarla come cavallo di Troia per un ritorno al nucleare. Per tamponare il problema dei trasporti, non certo per risolverlo, si potrebbero dirottare le merci sui treni e in città si dovrebbe potenziare e incentivare il trasporto pubblico.

Dalla crescita per la crescita allo sviluppo equo e sostenibile

È ovvio che ciascuno di questi accorgimenti nasconde obiezioni e oppone resistenze all'attuazione pratica degli stessi perché noi siamo i figli del boom economico avviato negli anni '60. La logica di quello che è stato chiamato sviluppo industriale può essere estremizzata con il paradosso riportato nei fumetti di fig.14

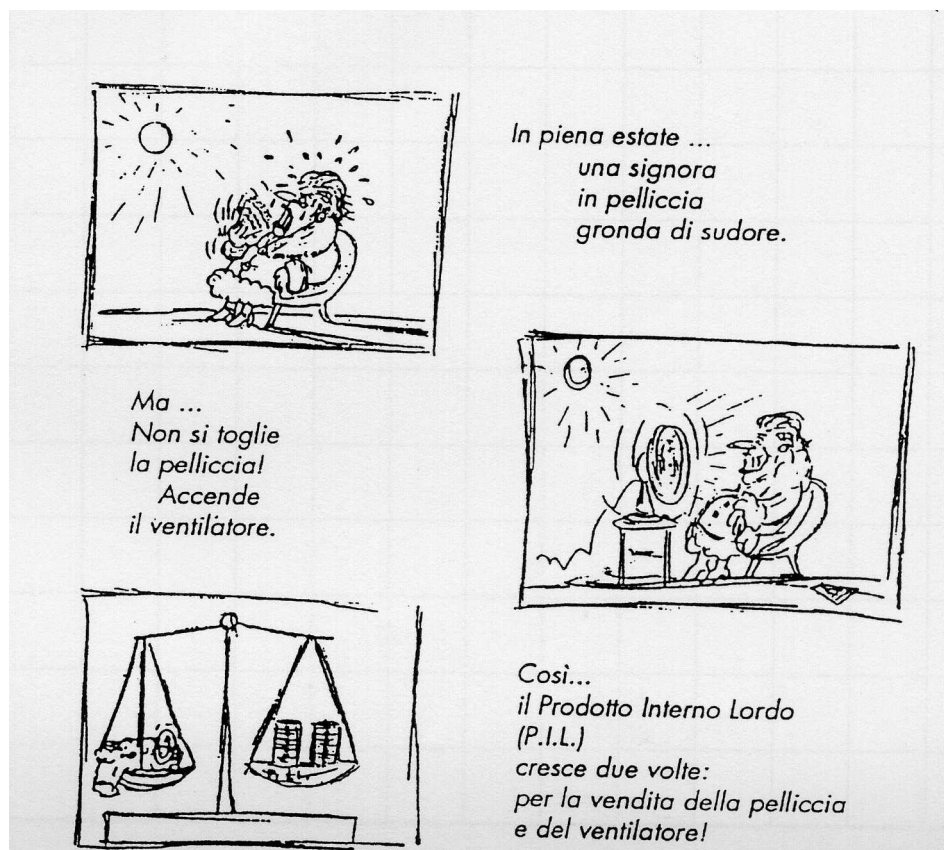


Fig.14

Nessuna signora sana di mente accenderebbe il ventilatore invece di togliersi la pelliccia. Però, ogni paradosso nasconde un fondo di verità. Infatti, si pensi a come venivano costruite le case negli anni '60: avevano muri da 26 cm per minimizzare i costi di costruzione. La logica che si seguiva era la seguente: basta potenziare l'impianto di riscaldamento (o, in alcuni casi, l'impianto di condizionamento) e in casa non si avvertirà il freddo (o il caldo). Si pensi anche al paradosso che viene vissuto ogni giorno in tante abitazioni quando si schiaccia il bottone per accendere lo scaldacqua elettrico. Si rifletta su donde provenga la corrente elettrica che alimenta quello scaldacqua: se viene da una centrale termoelettrica, dove è stato bruciato olio combustibile (o più raramente carbone), a temperature intorno ai 1000°C, si nota che quell'energia prodotta ad alte temperature viene utilizzata in casa per innalzare la temperatura dell'acqua da 15°/20° a 40°/50°. È chiaramente qualcosa di assurdo: è come se si tagliasse il burro con una motosega! Ma ognuno di noi può trovare altri esempi di comportamenti paradossali che fanno parte del nostro modo di vivere: andare al bar in auto, evitare il riciclo dei materiali (usa e getta!)... Rovesciare il paradosso della *crescita per la crescita* non è impresa da poco: comporta scelte radicali che rimettano in discussione l'idea di *progresso*.

Finora abbiamo associato al termine progresso l'idea di qualcosa di grande e di rapido che ha portato, almeno noi abitanti del Nord del Pianeta, a consumare risorse in quantità sempre maggiori. È necessario, ora, ridefinire la nozione tradizionale di progresso in modo da renderla compatibile con la natura e con il resto dell'umanità. Ma questo implica la demolizione dell'idea meccanicista di uomo-dominatore della natura. Bisogna ridurre i consumi di risorse nei Paesi ricchi per consentire ai Paesi poveri di raggiungere un minimo di condizioni di vita confortevoli. Ovviamente, è inutile aspettarsi un tale cambiamento dal sistema economico-produttivo. Si tratta di un processo lungo e complesso che comporta un cambiamento nel *modo di pensare*. È, prima di tutto, un cambiamento culturale e, pertanto, riguarda la scuola. I giovani vanno educati a progettare uno sviluppo equo per tutti i terrestri, rispettoso delle leggi della natura e della termodinamica in maniera particolare.

Non è facile, ma è una sfida entusiasmante per gli insegnanti del 2000: proviamo a modificare, almeno in parte, la didattica della fisica in modo da fondarla su un problema sociale complesso e controverso come quello energetico. D'altra parte la società globale implica una concezione nuova dell'educazione che non può essere semplicemente un adattamento a un ordine presente e ad una cultura passata, ma stimolo e preparazione all'invenzione del futuro.

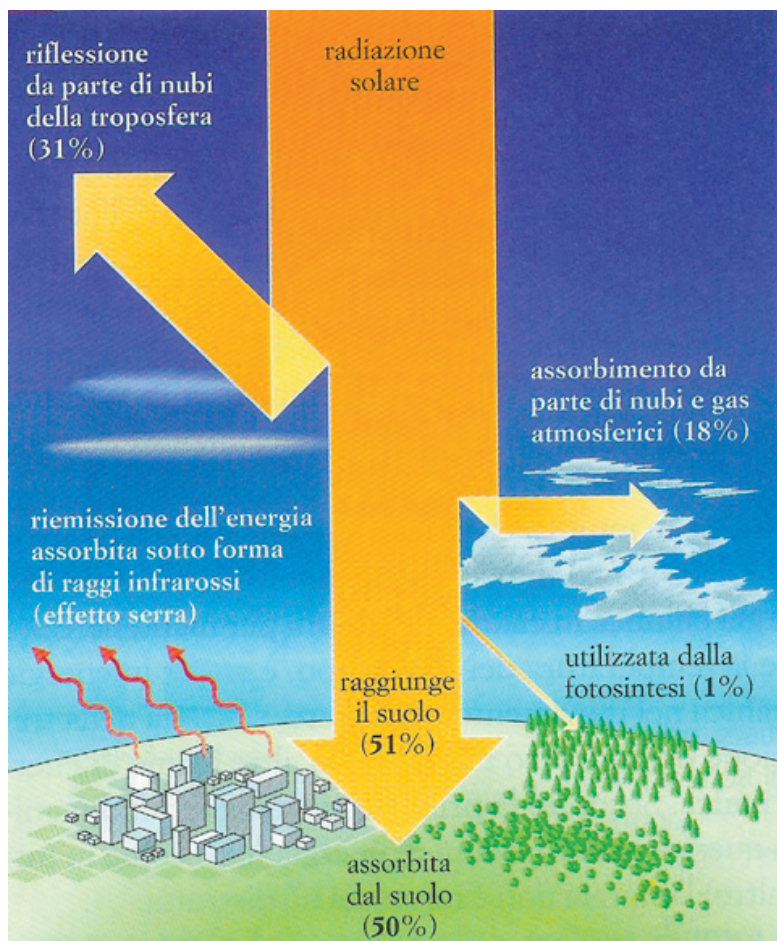
BIBLIOGRAFIA

- [1] Jean-Claude Debeir, Jean-Paul Deléage, Daniel Hémary, *Storia dell'energia*, Edizioni del Sole 24 Ore, Milano, 1979.
- [2] Apuleio, *Le metamorfosi o l'asino d'oro* - IX pag. 513 - Rizzoli, Milano, 1987.
- [3] Laura Conti, Cesare Lamera, *Tecnologia dalle origini al 2000*, Arnoldo Mondadori, Milano 1981.
- [4] Angelo Baracca, Riccardo Rigatti, *Uso razionale dell'energia*, Unità didattica dattiloscritta, Università di Firenze, 1987.
- [5] Bruno Jannamorelli, (a cura di), *La potenza motrice del fuoco*, CUEN, Napoli, 1996. Con alcune varianti minori, questo testo riproduce l'omonimo testo pubblicato nel novembre 1988 dall'ENEA.
- [6] Cesare Maffioli, *Una strana scienza, materiali per una storia critica della termodinamica*, Feltrinelli, Milano, 1979.
- [7] American Institute of Physics, *Efficient Use of Energy*, Conference Proceedings, n.25, New York, 1975.
- [8] Barry Commoner, *La povertà del potere*, Garzanti, Milano, 1976.
- [9] Peter Chapman, *Il paradiso dell'energia, introduzione all'analisi energetica*, CLUP, Milano, 1982.
- [10] Federico Butera, *Quale energia per quale società*, Mazzotta, Milano, 1979.
- [11] David Collingridge, *Il controllo sociale della tecnologia*, Editori Riuniti, Roma, 1983

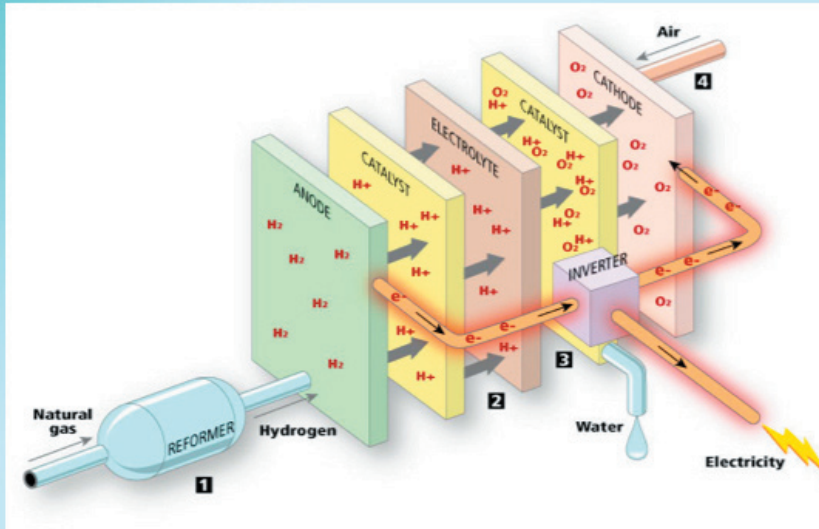
Riepilogo sulla radiazione solare

L'energia che proviene dal sole arriva sulla terra sotto forme di onde elettromagnetiche ed è governata dalle leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien

$$U = \sigma \cdot T^4 \quad \lambda_{max} T = b$$



Le celle a combustibile - 1



Rendimento elettrico netto: 55-65%
Rendimento in cogenerazione: 65-75%

Concludiamo con un accenno alla problematica moderna dell' "efficienza di sistema", del superamento della combustione e del tentativo di aggirare i limiti imposti dal principio di Carnot.

Passiamo quindi al fisico Sergio Ulgiati Docente alla Università Parthenope di Napoli

Dopo aver spinto ulteriormente l'efficienza impiantistica con le celle a combustibile



Come migliorare ancora? - 1

Se A non è la risposta giusta...

Se B non è la risposta giusta...

Se C non è la risposta giusta...

...allora, cambiamo la domanda !

Come migliorare ancora? - 2

A questo punto il problema è "aggirare" il ciclo di Carnot...

1. Aumentando il numero di componenti del sistema
2. Estendendo l'analisi anche a risorse non energetiche
3. Costruendo sistemi i cui componenti si scambino risorse ed energia.

Verso le emissioni zero - 1

- Il concetto di emissioni zero rappresenta una rivoluzione nelle nostre concezioni industriali, lontano dai modelli lineari in cui i rifiuti sono considerati la norma, verso sistemi integrati dove ogni cosa ha un suo utilizzo.
- Questo concetto annuncia l'inizio della prossima rivoluzione industriale in cui l'industria si sforzerà di imitare i cicli sostenibili della natura e l'umanità, piuttosto che attendersi che la terra produca di più, imparerà a fare di più con quello che la terra produce.

(www.weri.org/home)