

Genesi Logico-cronologica del *Maximum Em-Power Principle* *

Introduzione: il progressivo emergere della *Qualità* in un contesto dominato dalla *quantità*

Intorno al 1870 la *Termodinamica Classica* aveva già raggiunto, in meno di 50 anni, la sua forma sistematica pressoché definitiva. *Tutti* i fenomeni fisici sembravano obbedire, sostanzialmente, a due Principi fondamentali: il Primo ed il Secondo Principio della Termodinamica. Questa disciplina era infatti “ufficialmente” nata (almeno da un punto di vista convenzionale) nel 1824, anno di pubblicazione dell’opera principale di Sadi Carnot (1796-1832), *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, quando l’Autore era ancora ventottenne. In questo lavoro Carnot esponeva chiaramente le idee fondamentali di quello che sarebbe stato, circa 50 anni dopo, rigorosamente *formalizzato* da R. G. Clausius (1822-1888) come il Secondo Principio della Termodinamica (v. Fig. 1). In realtà esso era già implicito nelle due seguenti importantissime affermazioni contenute nel lavoro di Carnot: a) *per ottenere lavoro dal calore occorre che il calore passi da una temperatura più elevata ad una temperatura più bassa*; b) *la potenza motrice del calore è indipendente dagli agenti impiegati: dipende solo dalle temperature delle sorgenti*.

Tuttavia questa fondamentale scoperta, che evidenziava una particolare *qualità* dell’Energia, non venne subito percepita in tutto il suo valore dal mondo scientifico contemporaneo. E questo soprattutto perché la *prospettiva d’indagine* in campo scientifico era, all’epoca, dominata dalla *quantità*, dalla *misura*. L’attenzione era prevalentemente volta a riscontrare se vi fosse (o meno) una equivalenza *quantitativa* fra *Calore* (trasformato) e *Lavoro* (ottenuto). Un tale riscontro si sarebbe avuto quasi vent’anni più tardi, tra il 1842 e il 1848, ad opera di J. P. Joule (1818-1889) e I. R. Mayer (1814-1878), attraverso risultati conseguiti indipendentemente l’uno dall’altro. Furono proprio questi risultati *quantitativi* che condussero subito alla *formulazione matematica* del Primo Principio della Termodinamica (v. Fig. 1), mentre le successive scoperte nel campo dell’Elettromagnetismo e la formulazione delle famose equazioni di J. C. Maxwell (1831-1978) avrebbero condotto alla sua successiva *generalizzazione* costituita dal cosiddetto *Principio di conservazione dell’Energia*.

La visione della Termodinamica dell’Ottocento, da un punto di vista delle *prospettive di principio*, sembrava avesse (di fatto) esaurito la sua spinta propulsiva, anche se le conoscenze di fenomeni specifici ne avrebbero esteso il campo di indagine (quantitativo). Tale prospettiva viene riassunta (ancor oggi) nelle due seguenti proposizioni generali, valide per ogni “Sistema” isolato (concepito come una *black box*) nell’ipotesi che esso possa essere esteso a rappresentare anche l’intero Universo: 1) «L’Energia dell’Universo è *costante* (in *quantità*)»; 2) «L’Entropia dell’Universo tende ad un massimo o, in altri termini, l’Energia progressivamente si “degrada” in *qualità*».

La Scienza sembrava aver raggiunto un risultato definitivo, a carattere universale. Tutto appariva sotto controllo. Ma qualcosa già segnalava possibili “scricchiolii” in una tale “impalcatura”.

Il primo aspetto “problematico” si presentò nell’applicazione dei Principi della Termodinamica (pur nella loro ampia generalità) all’analisi dei *Sistemi Biologici*. Apparve allora chiaramente che i due Principi, ancora *globalmente* validi anche nel caso dei Sistemi viventi, non potevano essere considerati come *Leggi* di per sé sufficienti a spiegare *perché* un organismo si sviluppasse attraverso un processo di *autorganizzazione* (con *perdita* perciò di Entropia ed *incremento* del proprio ordine) a spese dell’intero Universo circostante (che pertanto *accresce* di gran lunga *più dell’altro* la sua Entropia e il suo associato *disordine*). Iniziava cioè a sorgere qualche dubbio sul fatto che l’Energia *meccanica* fosse la forma di riferimento *fondamentale* per esprimere un giudizio sulla “qualità” dell’Energia.

* Tratto da: C. Giannantoni. *Possibili Opzioni Energetiche: Scelte Strategiche e Ragioni Culturali*. Convegno Internazionale su “La Civiltà dell’Idrogeno”, Istituto Italo Latino-Americano (IILA), Roma, 17 Febbraio 2004.

I primi “germi” di queste nuove idee, che diverranno poi fondamentali per una *diversa prospettiva* nell’analisi del mondo fisico-biologico (Uomo incluso), iniziarono ad essere “timidamente” proposte da L. Boltzmann (1844-1906) in un lavoro datato 1886. La profonda ostilità e la ingiustificata incomprendimento che esse incontrarono nella cultura accademica dell’epoca amareggiarono a tal punto Boltzmann da indurlo, più tardi, al suicidio ([4]). Ma quegli spunti originali furono poco dopo ripresi da A. Lotka (nel 1922), il quale, fondandosi proprio sugli studi di Boltzmann, suggerì che il “*Principio della Massima Potenza*” fosse da considerarsi come il *Quarto* Principio Termodinamico, applicabile in particolare ai *Sistemi aperti*. Altri Autori si occuparono dello stesso problema, fino agli inizi degli anni ’50, ma senza particolari “entusiasmi” da parte della cultura scientifica contemporanea. L’attenzione infatti era ancora orientata alla *trasformabilità* dell’Energia che, per ragioni soprattutto economiche, veniva prevalentemente (ed “utilitaristicamente”) fondata sul solo Primo Principio della Termodinamica.

Un radicale cambiamento nella Termodinamica si registrerà solo a partire dall’anno 1955, ed in particolare lungo due “direttrici”, *distinte ma complementari*.

Da una parte, pur restando nel filone “utilitaristico”, si rafforzerà l’attenzione ad un uso più corretto dell’Energia con la considerazione più attenta del Secondo Principio della Termodinamica. A tal fine, infatti, Z. Rant (1955) introdurrà la grandezza fisica *Exergia*, che consentirà di trattare in modo del tutto equivalente, ma con maggior dimestichezza ingegneristica, la più sofisticata grandezza Entropia. Dall’altra, invece, H. T. Odum (1924-2002), riprendendo il concetto di *Qualità* dell’Energia nel contesto di una più generale visione d’insieme, mostrerà che quest’ultima ha caratteristiche più ampie della *sola* trasformabilità in semplice *Energia meccanica*. Anch’egli, infatti, a partire dal 1955 estenderà progressivamente la validità del Principio introdotto da Lotka a più ampie classi di Sistemi oggetto di studio della Scienza e dell’Ingegneria, mostrando come i precedenti principi di *massimizzazione* ed *ottimizzazione* non fossero altro che dei *casi particolari* del “*Maximum Em-Power Principle*”, quale ulteriore *generalizzazione* del Principio proposto da Lotka. Una generalizzazione resa possibile dall’introduzione della grandezza *Emergia* (1984) e, successivamente, dalla sua formulazione del tutto generale in più appropriati termini matematici ([29],[30]). A questo stadio il *Quarto Principio della Termodinamica* non solo offre la possibilità di una attenta rilettura della Termodinamica Classica, ma apre anche la strada a prospettive ancor più interessanti per l’immediato futuro come, per esempio, quella concernente la crescente *Ordinalità* dei sistemi autorganizzanti (e, fra questi, i *Sistemi Economici*).

Prima però di affrontare i vari ambiti in cui il *Maximum Em-Power Principle* apre nuove prospettive di indagine, è opportuno presentare un sintetico panorama della Termodinamica contemporanea, sostanzialmente *rinnovata* rispetto alla Termodinamica Classica, proprio a seguito della formulazione matematica di tale Principio in condizioni dinamiche del tutto generali.

Panorama “Termodinamico” a valle della Formulazione Matematica del IV Principio

Se ai tre i Principi Classici (v. Fig. 1) si affianca ora il Quarto Principio della Termodinamica di Lotka-Odum, è facile riscontrare la necessità di un uso congiunto di almeno *tre* grandezze fondamentali per poter ritenere esauriente la trattazione di tutti gli aspetti del problema: L’*Energia*, l’*Exergia* e l’*Emergia*. Quest’ultima grandezza, come già anticipato, è quella che ha di fatto consentito di esprimere il “*Maximum Em-Power Principle*” (Principio della Massima Potenza Emergetica), per lungo tempo considerato come “Quarto Principio” Termodinamico soprattutto per la sua *validità pratica*, benché fino a tre anni fa non si disponesse ancora di una sua rigorosa *formulazione matematica*. Quest’ultima, conseguita solo recentemente ([29]), non solo ha chiarito in che termini tale Principio debba dirsi “Termodinamico” (se in senso stretto o in senso più generale ([30])), ma ha anche “mutato” il panorama “Termodinamico” tradizionale.

1° PRINCIPIO: <i>Joule & Mayer</i> (1841 -1848)	$dU = \delta Q - \delta L \Rightarrow$ Conservazione dell' <i>ENERGIA</i> (En)	} \Rightarrow <i>EXERGIA</i> (Ex) <i>Z. Rant</i> (1955)
2° PRINCIPIO: <i>Carnot</i> (1824)	$dS = \frac{\delta Q_{tot}}{T} \Rightarrow$ Incremento dell' <i>ENTROPIA</i> (S)	
3° PRINCIPIO: <i>Nernst</i> (1906)	$\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0 \Rightarrow$ (Validità a basse temperature assolute)	
4° PRINCIPIO: <i>Boltzmann - Lotka</i> (1886 -1922)	$d(\gamma_i \Phi_i) = dEm + d(cEm_e^+) \Rightarrow$ "Maximum Em-Power Principle" \Rightarrow (<i>H. Odum</i> , dal 1955 in poi)	<i>EMERGIA</i> (Em) <i>H. Odum</i> (1984)

Fig. 1 – Principi della Termodinamica (con alcuni Autori e date di riferimento)¹ ([30])

A tal riguardo è opportuno sottolineare che tale “mutamento” non “cancella” le conquiste scientifiche precedenti, ma le “trasfigura” e le “nobilita”. Infatti, se è vero che l’Energia continuerà ad essere il “baricentro” *quantitativo* di ogni analisi “energetica”, l’Emergia e l’Exergia costituiranno rispettivamente il “centro” di due differenti prospettive con caratteristiche più pertinenti le *qualità essenziali* dell’Energia. L’*Emergia* infatti consentirà di evidenziare sempre meglio (ed in modo particolare) la *Qualità intrinseca* delle risorse naturali e ambientali (in quanto associata a tutti i *processi generativi, anche quelli umani*), ponendo così in rilievo il fondamentale contributo dell’Ambiente come *Donatore* (tale prospettiva viene abitualmente denominata *Donor Side Approach*). L’*Exergia* invece consentirà ancora di evidenziare (e con rinnovata importanza) la *qualità locale* dell’Energia dal punto di vista dell’*Utente*, fornendo così la chiave per individuare facilmente le perdite indesiderate nel processo e i criteri di progettazione più avanzati (tale prospettiva corrisponde al cosiddetto *User Side Approach*). La Formulazione Matematica del Quarto Principio, infatti, non fa altro che rimarcare (e precisare sempre meglio) il ruolo *complementare* (e *coniugato*) svolto da queste tre grandezze, le cui mutue interrelazioni (anche se in modo estremamente semplificato) sono schematicamente illustrate in Fig. 2, attraverso l’indicazione anche del reciproco *posizionamento* e delle corrispondenti relazioni ed interazioni con l’Ambiente.

La Fig. 2 può allora essere così sinteticamente illustrata: se il *blocco logico* “Energia” viene “identificato” con un qualsiasi *processo* fisico-biologico, risulta chiaro come le interazioni fra Energia e Ambiente (*prima, durante e dopo* il processo) possano essere adeguatamente analizzate attraverso tre specifiche grandezze, rispettivamente: l’Emergia, l’Anergia e l’Exergia. Tutto ciò può essere sintetizzato in una semplice *formula a tre fattori*:

$$Em_i = Tr_i \cdot En_i \cdot \theta_i \quad (1.1)$$

in cui Em_i è l’Emergia “associata” da una generica forma di Energia En_i , mentre θ_i (con $\theta_i \leq 1$) e Tr_i sono così definiti

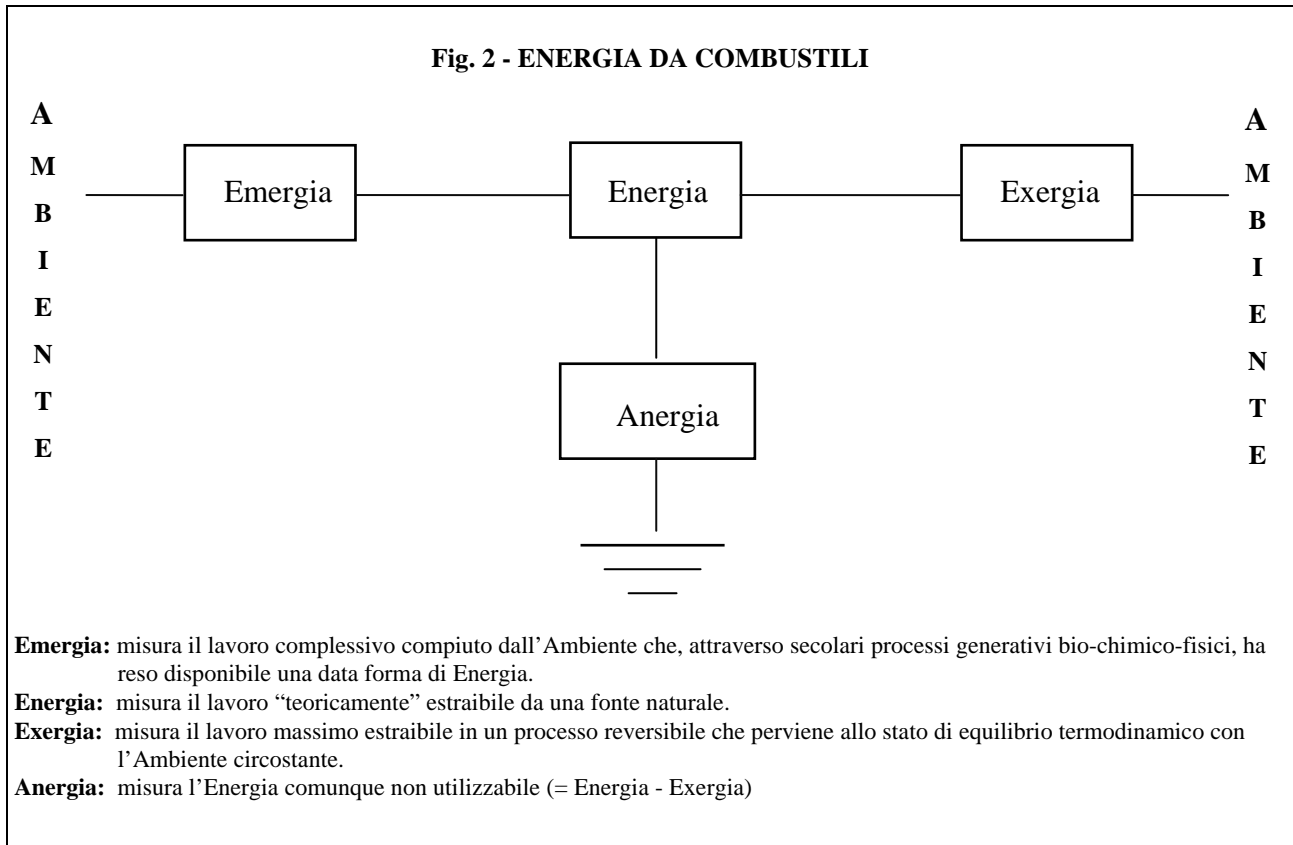
¹ L’equazione di Bilancio Emergetico in termini *differenziali* non rappresenta, di per sé, la formulazione del Quarto Principio, ma solo il corretto presupposto per la sua formulazione matematica (v. [29],[30]).

$$\theta_i = \frac{Ex_i}{En_i} \quad (1.2)$$

e

$$Tr_i = \frac{Em_i}{Ex_i} \quad (1.3)$$

e rappresentano, rispettivamente, il *coefficiente generalizzato di Carnot*, ed un *fattore di Qualità*, denominato *Transformity* (o *Trasformità*), che esprime la Qualità “veicolata” dall’Exergia Ex_i .



Pertanto, in base alla (1.1), si ha che:

- se trascuriamo Tr_i , non facciamo altro che eseguire una Analisi Exergetica;
- se trascuriamo Tr_i e θ_i , non facciamo che svolgere una semplice Analisi Energetica;
- se trascuriamo θ_i ci riduciamo ad una Analisi Energetica valida solo per i Sistemi “conservativi”.

Sulla base di queste considerazioni possiamo pertanto affermare che, se si continueranno a condurre analisi di tipo essenzialmente Energetico (come generalmente si è fatto finora), ciò comporterà che verranno implicitamente trascurate tanto l’Emergia che l’Exergia (e, conseguentemente, anche l’Anergia), e così verranno trascurate *di fatto* le interazioni fra le corrispondenti *fasi* delle attività produttive e l’Ambiente (che, lo anticipiamo, non è costituito solo di *cose*, ma anche di *persone*).

Da ciò si può facilmente riconoscere che una delle ragioni di fondo del *crescente inquinamento* e del *progressivo degrado ambientale* è riconducibile al fatto che nel processo di *Policy Decision Making* sono stati prevalentemente considerati *solo* Bilanci Energetici. Cioè, nonostante tutto, ci si è sempre sostanzialmente basati su un approccio Termodinamico che potremmo definire ancora di tipo “Ottocentesco”, almeno come impostazione generale (v.[22],[24],[25]).

Ed ora, dopo questa rapida panoramica del “contesto storico-scientifico” in cui si situa l'*enunciato* del Quarto Principio della Termodinamica, passiamo alla considerazione dei suoi *riflessi* nell'analisi dei Sistemi Economici come *Sistemi auto-organizzanti*.

Riferimenti

1. Euratom Scientific and Technical Committee. STC Opinion on Nuclear Energy Amplifier. STC(96) - D18, 25 September, 1996.
2. U. Farinelli. Alternative Energy Sources for the Third World: Perspectives, Barriers, Opportunities. Pontifical Academy of Sciences, Plenary Session, 25-29 October 1994.
3. U. Farinelli. Verso un Modello Energetico Sostenibile. Considerazioni introduttive per la Conferenza Nazionale Energia e Ambiente. Doc. 22 Maggio 1998.
4. L. Mattarolo. I fondamenti della Termodinamica. La Termotecnica, Luglio/Agosto 1996.
5. S. P. Huntington. Clash of Civilizations. Italian Edition, Garzanti, 1997.
6. International Energy Agency. Energy World Outlook. OECD Publications (Paris), 1996.
7. H. T. Odum. Ecological and General Systems. An Introduction to Systems Ecology. Revised Edition. University Press Colorado, 1994.
8. H.T. Odum. Public Policy and the Maximum Empower Principle. Net Emergy evaluation of Alternative Energy Sources. Lectures at ENEA Headquarters, 24 May 1995.
9. D. W. Pearce, R. K. Turner. Economics of Natural Resources and the Environment. Harvester-Wheatsheaf. Italian Ed. Mulino, Bologna, 1991.
10. C. E. G. Padrò, V. Putsche. Survey of Economics of Hydrogen Technologies. National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 1999.
11. S. Rayner, E. L. Malone. Human Choice and Climate Change. Ten Suggestions for Policymakers. Battelle Press, Ohio, USA, 1998.
12. European Commission. Hydrogen Energy and Fuel Cells. A vision of our future. Final Report of the High Level Group, 2003.
13. F. Butera. Renewable Energy Sources in Developing Countries: Successes and Failures in Technology Transfer and Diffusion. Progetto Finalizzato Energetica, 1989.
14. U. Ruggiero. L'Energia del Futuro. Documento introduttivo alla Conferenza Nazionale dell'Energia. 52° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, Cernobbio (Como), 23 Settembre 1997.
15. ISTAT, Istituto Nazionale di Statistica. Contabilità Ambientale. Serie X - Vol. 13. Roma 1996.
16. UN, United Nations. Integrated Environmental and Economic Accounting. Handbook of National Accounting. Interim Version, 1993.
17. M. Villey. La Formazione del Pensiero Giuridico Moderno. Ed. Jaca Book, 1986.
18. J. Szargut, D. R. Morris, F. R. Steward. Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes. Hemisphere Publ. Corporation, USA, 1988.
19. C. Rubbia. L'atomo che piace ai verdi. Sapere, dossier/questioni energetiche, Dicembre 1998.
20. C. Rubbia. Un futuro pieno di Idrogeno. Intervista a *La Replubblica*, 8 Agosto 1999.
21. C. Rubbia. Opening Remark at the 5th International Symposium of Fusion Nuclear Technologies. Roma, 20 Settembre, 1999.
22. C. Giannantoni. Environment, Energy, Economy, Politics and Rights. Proceedings of Advances in Energy Studies, Porto Venere, Italy, 27-31 May 1998. MUSIS, Rome, 1998.
23. C. Giannantoni. Integrated Approach to the Analysis of Investments by Means of Three Synthetic Economic Indicators: Energetic, Exergetic and Emergetic DCF (Discounted Cash Flow). International Conference on Indices and Indicators of Sustainable Development, St. Petersburg, Russia, 11-16 July 1999.
24. C. Giannantoni. Studi su Energia, Ambiente, Economia e Patrimonio Naturale. ENEA Report, Energia-Ambiente-Innovazione, n. 1, 1999.
25. C. Giannantoni. Adattarsi al Futuro o Determinarlo? Il ruolo dell'Energia. Riv. Psicologia e Lavoro, Pàtron Editore, Bologna, 2000, n. 116, pp.10-21, n. 117, pp. 30-38
26. C. Giannantoni. New Energy Options and Strategic Choices Able to Link Demand Technology and Culture. The Case of Hydrogen. International Workshop on “Advances in Energy Studies”, Porto Venere (Italy), May 2000.
27. C. Giannantoni, C. Cialani, A. Mansueti. Analysis of Investments Based on the Trilateral Externality Approach. Ed. Elsevier Science, Ecological Indicators 2 (2002) 27-38.
28. C. Giannantoni, A. Mirandola, S. Tonon, S. Ulgiati. Energy-Based, Four-Sector Diagram of Benefits as a Decision Making Tool. International Workshop on “Advances in Energy Studies”, Porto Venere (Italy), 24/28 September 2000.
29. Giannantoni C. Mathematical formulation of the Maximum Em-Power Principle. Proceedings of the Second International Research Conference on Emergy Analysis. Gainesville, Florida (USA), 20-22 September 2001.

30. Giannantoni C. The Maximum Em-Power Principle as the basis for Thermodynamics of Quality. Ed. S.G.E., Padova, 2002. ISBN 88-86281-76-5.
31. C. Giannantoni, A. Moreno, S. Ulgiati. Evaluation of Hydrogen Technologies on the Basis of the Four-Sector Diagram of Benefits. International 2003 Fuel Cell Seminar, Miami Beach, Florida (USA), 3-7 November 2003.