

Energia e sviluppo

Autor(en): **Fritschi, Bruno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica =
Swiss review of architecture, engineering and urban planning**

Band (Jahr): - **(1999)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-131642>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

L'evoluzione dell'uomo è strettamente legata alla sua capacità di procurarsi energia. La vita si basa infatti sull'utilizzazione dell'energia libera (exergia), un'utilizzazione contraddistinta dalla trasformazione di energia di maggior valore in energia di minor valore e dalla liberazione di calore di scarico, ossia energia residua che non può più essere utilizzata per la conservazione della vita. Questa energia residua è spesso designata con il termine di anergia. La somma di energia e anergia è costante (principio di conservazione dell'energia) e il processo di utilizzazione dell'energia procede sempre verso energie di minor valore, mai nell'altro senso. Questo fenomeno riflette il secondo principio della termodinamica: l'aumento costante dell'entropia.

Nelle piante, l'apporto energetico è assicurato dalla fotosintesi, mentre negli animali e nell'uomo dall'assunzione di vegetali e animali appartenenti agli anelli inferiori della catena alimentare, ma anche - e questo è un fattore evolutivamente nuovo - dall'utilizzazione di forze di massa (il vento e l'acqua), di forze molecolari (combustione di fonti energetiche contenenti idrocarburi come la legna, il carbone, il petrolio e il gas naturale) e di forze nucleari (attualmente mediante la fissione nucleare, ma in futuro forse anche mediante la fusione nucleare).

Le forze molecolari sono circa un milione di volte più intense delle forze di massa (acqua e vento). L'energia nucleare è a sua volta un milione di volte più intensa dell'energia molecolare. In altre parole: la densità di energia specifica del "vettore energetico" forza nucleare (combustibile nucleare) è di circa mille miliardi di volte (10^{13}) superiore alla densità di energia del vettore forza idrica.

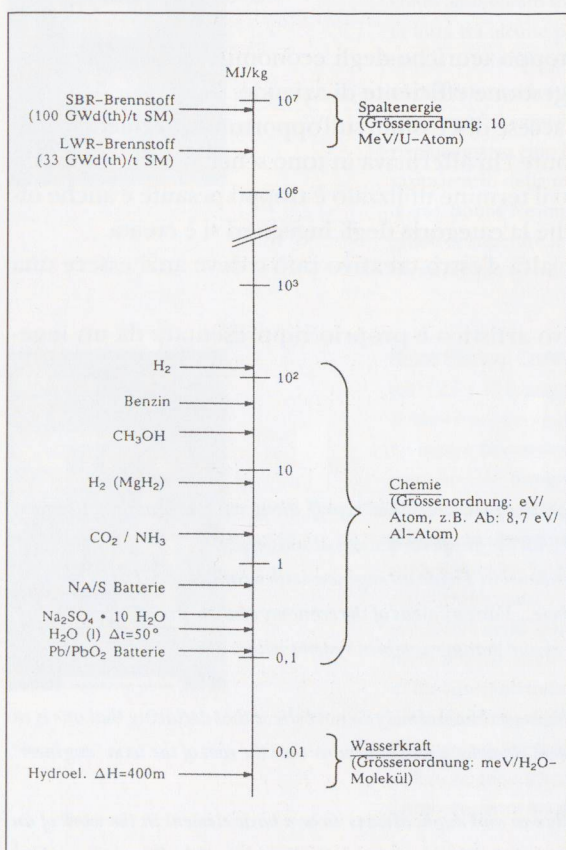


Fig. 1 - Le densità energetiche (fonte EIR, 1986)

Formazione e conservazione delle strutture viventi

Già nel 1886, il fisico Ludwig Boltzmann aveva rilevato che per via della loro stessa natura le strutture viventi dipendono dalla loro capacità di utilizzare energia libera per contrastare le leggi del secondo principio della termodinamica. Sia la formazione che la conservazione delle strutture viventi sono determinate dalla lotta per l'energia libera (exergia). Il reperimento, l'immagazzinamento e l'utilizzazione dell'energia sono infatti caratteristiche fondamentali dei sistemi viventi.

La competizione per l'energia libera fa nascere nuove strutture, nuovi stati ordinati quindi, ma sempre provocando nei sistemi circostanti un aumento dell'entropia, ossia del "disordine". Il fabbisogno energetico fisiologico dell'uomo, pari a circa 120 W, può essere coperto con 2500 kcal al giorno e si ripartisce in flusso di energia all'interno dell'organismo (70 W), moto (15 W), lavoro attivo (20 W) e lavoro cerebrale (circa 15 W).

L'evoluzione dell'uomo verso un essere culturale, tuttavia, non sarebbe stata possibile con un apporto energetico che copre esclusivamente il fab-

bisogno fisiologico. Uno dei presupposti dell'evoluzione è infatti sempre stato e rimane tuttora un apporto supplementare di "energia esterna".

	neolithische Landwirtschaft (mexikanischer Farmer)	moderne Landwirtschaft (amerikanischer Farmer)
Zeit	1150 h	17 h
Energie		
Arbeit	115 Mcal	
Maschinen	15 Mcal (Axt, Hacke)	1500 Mcal
Saatgut	36 Mcal (10 kg)	140 Mcal
Treibstoff		2100 Mcal
Nitrogen		2500 Mcal
Phosphor, Kalium, Pestizide		500 Mcal
Bewässerung		780 Mcal
Elektrizität und Trocknen		700 Mcal
Transport		180 Mcal
Sonstige		200 Mcal
Gesamtenergie-Input	166 Mcal	8600 Mcal
Getreideertrag	6700 Mcal (2000 kg)	18700 Mcal (5400 kg)
Umwandlungseffizienz (Energie-Output/ Energie-Input)	40	2,16

Tab.1 – Input e Output energetico nell'ambito della coltivazione del grano (fonte Pimentel, 1977)

Oggi nelle società industriali sviluppate si consumano circa 6 kW pro capite. In America del nord il consumo pro capite è di circa 13 kW, mentre nei paesi in via di sviluppo non raggiunge neanche 2 kW. Il passaggio da vettori energetici di densità bassa a vettori di densità superiore ha aperto all'uomo opzioni sempre nuove. Per esempio, la trasformazione delle molecole, ossia la chimica organica e inorganica, è entrata in nuova fase proprio grazie all'utilizzazione del carbone, del petrolio e del gas naturale. Una società basata sui mulini a vento e ad acqua, infatti, non sarebbe stata in grado di sviluppare una chimica moderna, ma si sarebbe limitata a processi chimici che avvengono a temperature relativamente basse.

Alla stessa stregua, però, nel sistema dei vettori energetici fossili basati sulle forze molecolari (carbone, petrolio e gas naturale) non è possibile trasformare un elemento in un altro. Gli alchimisti, infatti, dal punto di vista fisico non avevano la minima "chance" di trasformare in oro il piombo. All'epoca, l'unica energia molecolare disponibile era rappresentata dalla combustione della biomassa (legna). E grazie alla massa limitata e alla facilità di trasporto, il carbone di legna ha permesso di lavorare il vetro o di fondere e unire in leghe i metalli già molto prima dell'era industriale.

L'era dell'energia fossile

L'evoluzione dell'uomo da cacciatore e raccogli-tore a passeggero dei moderni jet è caratterizzata, oltre che da un crescente consumo energetico, anche da un allargamento della gamma di densità di

energia. Lo scienziato C.J. Winter parla di una prima e di una seconda civiltà solare. La prima risale all'età della pietra e si estende fino all'utilizzazione della forza del vento e dell'acqua. Segue poi il breve episodio evolutivo dello sfruttamento delle energie fossili (carbone, petrolio e gas naturale). Come per la forza eolica e per quella idrica, si tratta inizialmente di fonti energetiche che l'uomo ha trovato "bell'e pronte" o scoperto ai fini della generazione di energia.

Tuttavia, diversamente dalle forze di massa (vento e acqua), che derivano in fondo dall'energia solare, le energie fossili sono "aggregati" contenenti idrocarburi. Sono infatti il risultato di trasformazioni fotosintetiche dell'acqua e dell'anidride carbonica in composti contenenti carbonio e idrogeno. L'atomo di carbonio (C), legatosi a queste sostanze milioni di anni fa, nel giro di qualche secolo viene reimmesso nell'atmosfera sotto forma di anidride carbonica (CO₂) prodotta per combustione. È infatti dall'atmosfera che le piante a loro tempo l'avevano sottratta. In altri termini, la fotosintesi è un processo che trasforma l'acqua e l'anidride carbonica in idrocarburi (biomassa), mediante l'azione catalitica della clorofilla e l'apporto di energia solare.

L'epoca dell'utilizzazione delle energie fossili presenta caratteristiche ben precise, importanti per l'evoluzione dell'uomo.

Primo: si tratta di energia solare immagazzinata sotto forma di sostanze che presentano una densità di energia nettamente superiore rispetto alle forze del vento e dell'acqua.

Secondo: l'utilizzazione (combustione) di queste sostanze contribuisce, nel giro di qualche secolo, a compensare la riduzione, avvenuta sull'arco di milioni di anni, del tenore di anidride carbonica nell'atmosfera.

Terzo: la disponibilità di questi vettori energetici basati su forze molecolari ha catapultato l'uomo in un nuovo capitolo della tecnosfera da lui stesso creata.

Grazie al carbone, l'uomo è riuscito a far funzionare le macchine a vapore e a utilizzarle per trasportare masse e trasmettere forze (prima rivoluzione industriale). L'utilizzazione delle risorse energetiche, ossia di fonti di "negentropia" (o entropia negativa), ha alleggerito il lavoro fisico dell'uomo (di colui che non apparteneva ai ceti superiori), che ha così guadagnato tempo da dedicare ad altre attività, non indispensabili alla sopravvivenza, per esempio lo sviluppo delle facoltà culturali e intellettuali. Successivamente, durante la seconda rivoluzione industriale, la scoperta dell'elettricità e del motore elettrico ha aumentato

sensibilmente la disponibilità di energia extrasomatica, consentendo di spostare grandi masse e di utilizzare l'energia in modo decentralizzato.

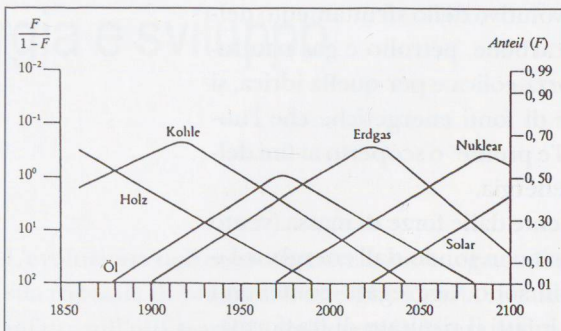


Fig. 2 - La parte F di energia primaria commerciabile per i vari vettori energetici (fonte Mc Donald, 1981)

Un ruolo importante, se non decisivo, nel processo evolutivo dell'uomo è quello svolto dall'immagazzinamento extrasomatico delle informazioni. Con l'invenzione della scrittura quale complemento alle informazioni memorizzate nei propri geni e nella propria memoria, l'uomo è infatti entrato in una nuova fase evolutiva, caratterizzata da svariati e netti progressi, dai geroglifici egizi (2900 a.C.) al megachip dei giorni nostri.

Senza l'utilizzazione delle energie fossili non si sarebbe mai giunti neanche allo sfruttamento a fini energetici della forza nucleare. La disponibilità di negentropia e un ampio ventaglio di densità di energia sono presupposti necessari, anche se non sufficienti, allo sviluppo della conoscenza e di conseguenza alla scoperta di nuove fonti di negentropia e nuove densità di energia, che si manifestano sempre correlate nella loro "intensità", in un sistema di interazioni non ancora noto in tutti i suoi dettagli.

Sistemi energetici e gradi di rendimento

Un aspetto di questa relazione si manifesta nella capacità ormai acquisita dell'uomo di sviluppare sistemi energetici aventi densità di energia e stati di disponibilità diversi. Sembra avviarsi verso il tramonto l'epoca in cui la politica energetica si concentrava esclusivamente sulle ripercussioni ambientali dirette dei singoli sistemi energetici. Tra non molto - perlomeno è quanto si spera - dovrebbe essere sostituita da una strategia globale volta a minimizzare l'entropia. Lo scopo di una gestione di questo tipo è quello di offrire densità di energia elevate, in relazione alla massa e/o alla superficie, a costi il più possibile contenuti e la cui produzione e il cui consumo provochino danni ambientali il più possibile limitati.

Facciamo un esempio: il grado di rendimento

energetico della biosfera continentale è stimato allo 0,08%, quello della tecnosfera al 15% (energia finale). Considerando le perdite per il consumatore finale, tuttavia, per la tecnosfera si ottiene un rendimento del 7%. C.J. Winter lo stima tra il 10 e il 15%. I gradi di rendimento dei sistemi tecnici si situano invece tra il 35% e il 58% (centrali con turbine a gas e a vapore).

Per quanto riguarda il grado di rendimento della biosfera, non abbiamo grandi possibilità di cambiarlo. Possiamo invece modificare facilmente il rendimento della tecnosfera "sintonizzando" meglio il valore energetico richiesto e la densità di energia offerta. Per esempio, l'idea di coprire parte del fabbisogno di acqua calda mediante dei collettori installati sul tetto invece di utilizzare costose energie che richiedono l'installazione di lunghe linee di distribuzione è molto intelligente.

All'elettricità deve spettare un ruolo chiave nella gestione dell'entropia. L'elettricità è indipendente dalla densità di energia della fonte primaria utilizzata. Bisogna poi anche rivalutare la lunghezza delle catene di trasformazione. In generale, più è lunga la catena di trasformazione, più importanti sono le perdite in rendimento: ogni trasformazione comporta infatti inevitabilmente una perdita.

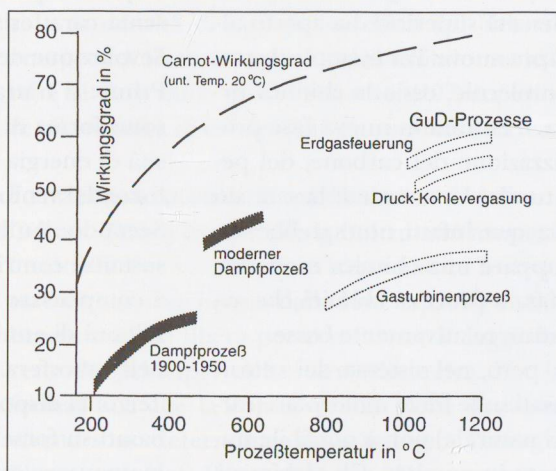


Fig. 3 - I rendimenti di vari processi termodinamici (fonte VKR)

In quest'ottica, l'utilizzazione dell'elettricità a fini di riscaldamento risulterebbe assurda a causa della lunghezza delle trasformazioni a monte. Se si considerano tuttavia i rendimenti energetici di tutti gli elementi della tecnosfera, emerge che il consumo energetico in rapporto al prodotto interno lordo (PIL) è inferiore nei paesi in cui la quota di elettricità sul consumo totale di energia è elevata. Il motivo principale è rappresentato dal fatto che l'elettricità non conosce limiti termodinamici. L'esperto in questioni energetiche G. Erdmann rileva: "Nei processi di combustione fossile

la temperatura massima che può essere raggiunta dipende dalla temperatura di combustione adiabatica della reazione chimica e di norma non supera i 1650°C, mentre le temperature che possono essere prodotte con l'energia elettrica sono limitate solo dalla resistenza alla temperatura del materiale circostante e nei mezzi gassosi possono raggiungere 10'000°C. Con il confinamento magnetico del plasma si raggiungono temperature fino a 10 milioni di °C..."

Queste caratteristiche assicurano all'elettricità un ruolo fondamentale nella rivalutazione energetica della tecnosfera. Basti pensare alla produzione di benzina a partire da petrolio greggio, all'orientamento esatto degli elementi di riflessione degli specchi parabolici delle centrali solari, all'arricchimento al 3% dell'U235 presente in una concentrazione dello 0,7% nell'uranio naturale o all'utilizzazione della differenza tra la temperatura ambiente e la temperatura terrestre mediante le pompe di calore.

I limiti dell'energia solare

Oggi, in tutto il mondo l'elettricità è prodotta in prima linea partendo dal carbone. Ma la produzione di elettricità partendo dall'energia solare o nucleare è senz'altro più promettente e innovativa. Anche se restano quantità enormi di vettori fossili, è incontestabile che lo smantellamento degli stati di ordine presenti in natura non può continuare all'infinito, dato che per definizione le risorse sono limitate (minerali, carbone, petrolio, gas naturale, ecc.). Ciò non significa tuttavia che l'uomo non possa produrli. Oggi però risulta molto più vantaggioso estrarre i minerali, il carbone o il petrolio dal suolo.

Regione	Consumo annuo di energia primaria pro capite (1990)	
	in tep	in tec
Nord America	7,82	11,21
Unione Stati Indipendenti	5,01	7,18
Europa occidentale	3,22	4,62
Europa centrale e dell'est	2,91	4,17
America latina	1,29	1,85
Vicino Oriente e Africa del nord	1,17	1,68
Pacifico	1,02	1,46
Africa sub-sahariana	0,53	0,76
Asia del sud	0,39	0,56
Media mondiale	1,66	2,38

Tab.2 - Il consumo di energia primaria nel 1990
(tep = tonnellata equivalente petrolio, tec = tonnellata equivalente carbone) (fonte WEC)

Per l'energia solare la situazione è diversa: si tratta infatti di un'energia praticamente "inesauribile", come l'acqua. Per questo motivo non vi sarebbe alcun ostacolo, dal punto di vista delle risorse,

all'utilizzazione fotovoltaica dell'energia solare per la produzione elettrolitica di idrogeno. Lo stesso discorso vale mutatis mutandis per lo sfruttamento dell'energia nucleare mediante reattori autofertilizzanti e l'energia di fusione.

Una rapida conversione degli attuali sistemi energetici in grossi impianti solari tuttavia non è così semplice, perché i necessari quantitativi di materiale non possono essere reperiti in quattro e quattro. Innanzitutto possono essere fabbricati e installati solo con la moderna tecnica e l'attuale consumo energetico. I tempi e le energie necessari sono invece spesso "divorati" dall'inarrestabile crescita demografica, il che comporta un fattore raccolto negativo. In altre parole, il sistema assorbirebbe più energia di quella che potrebbe produrre. Sarebbe un processo endotermico.

Cerchiamo di illustrare questa difficoltà con un calcolo teorico. Partiamo da un irraggiamento solare medio a livello mondiale di 250 W per m² (per i paesi industrializzati dell'Europa occidentale si stima una media di 170 W/m²). Supponiamo, sempre essendo ottimisti, che il rendimento delle celle solari sia del 15%. Ciò corrisponde a una potenza di 37,5 W/m². Per produrre una potenza equivalente a quella necessaria a livello mondiale, pari a 14 terawatt (1 terawatt = mille miliardi di watt), ci vorrebbero in totale 400'000 km² di pannelli, ossia un quadrato con 630 km di lato. E questa è solo la superficie netta dei pannelli. Se si aggiunge l'infrastruttura tecnica necessaria per far funzionare una centrale solare di queste dimensioni, la superficie necessaria risulta triplicata, ossia 1,2 milioni di km². A ciò si aggiunge il fatto che, per "ammortizzare" l'impianto dal punto di vista energetico, per la produzione, l'installazione e la manutenzione di un impianto ipotetico del genere sarebbero necessarie quantità di materiali tali da richiedere una crescita dell'apporto energetico per unità di tempo superiore all'energia ricavabile dal sistema esistente.

Per l'energia nucleare il materiale necessario è nettamente inferiore a quello degli impianti solari. Ma una conversione immediata dell'intero sistema energetico in nucleare sarebbe insostenibile per via delle ristrettezze di capitale che tale operazione comporterebbe. In base alle stime degli esperti, sarebbe realistica una quota di energia nucleare sulla produzione mondiale di elettricità pari a 3 terawatt - se non ci fosse il problema dell'accettazione del nucleare.

Il cammino verso la seconda civiltà solare

Attualmente siamo ancora sprofondata nell'era fossile. Ma le possibilità tecniche di decarbonizza-

re, parzialmente o completamente, il ciclo energetico fossile esistono. I costi supplementari sono stimati al 10-20%. Se la comunità internazionale dovesse decidere che questo aumento dei costi è sostenibile di fronte alle possibili conseguenze di un aumento del tenore di anidride carbonica nell'atmosfera, non vi sarebbe più alcun ostacolo tecnico. Le ultime indagini economiche rivelano tuttavia che nella situazione odierna e dato lo stato attuale delle conoscenze, un investimento massiccio nelle strategie volte a ridurre l'anidride carbonica non è consigliabile.

La ricerca nel campo della produzione, dell'immagazzinamento, del trasporto e dell'utilizzazione dell'idrogeno procede a pieno ritmo in tutto il mondo. Quale tappa intermedia sulla strada verso l'era dell'idrogeno si sta delineando un sistema energetico destinato ai mezzi di trasporto, che ricava metanolo dal gas naturale e lo utilizza per produrre idrogeno.

L'economia diretta dell'idrogeno comporta costi elevati e sull'arco di tutte le fasi di trasformazione presenta un rendimento esiguo. Considerando infatti l'intera catena - produzione fotovoltaica di elettricità (rendimento : 15%), elettrolisi (69%), cella di combustibile (60%), consumo finale (30%) - un sistema energetico di produzione di idrogeno per elettrolisi basato esclusivamente sull'energia solare avrebbe un rendimento complessivo inferiore al 2%. Sarebbe poi necessario un enorme apporto di materiale, che a sua volta assorbirebbe energia. Ipotizzando che la crescita demografica prosegua almeno fino alla metà del secolo prossimo, l'espansione materiale ed energetica di questo sistema dovrebbe procedere più rapidamente della crescita demografica, tanto più che la domanda di infrastrutture aumenta approssimativamente del quadrato della crescita demografica.

La posizione strategica dell'energia nucleare nella fase transitoria verso nuovi sistemi energetici

Le interazioni e la sequenza dei tre sistemi energetici di base dell'umanità - ciclo fossile decarbonizzato, energia nucleare (compresa la fusione) ed energia solare "pura" - dipendono anche dai possibili orizzonti politici. In ogni caso sono prevedibili, e necessari, "sovrapposizioni" nel tempo di questi sistemi. Per esempio, la decarbonizzazione del ciclo energetico fossile dal punto di vista tecnico è meno costosa se realizzata in combinazione con l'energia nucleare. O ancora, l'energia nucleare, e soprattutto il reattore ad alta temperatura, svolge un ruolo decisivo nella fase di transizione dal sistema fossile a un sistema

basato esclusivamente sull'idrogeno. Oggi, infatti, non siamo al termine, ma all'inizio dell'era nucleare.

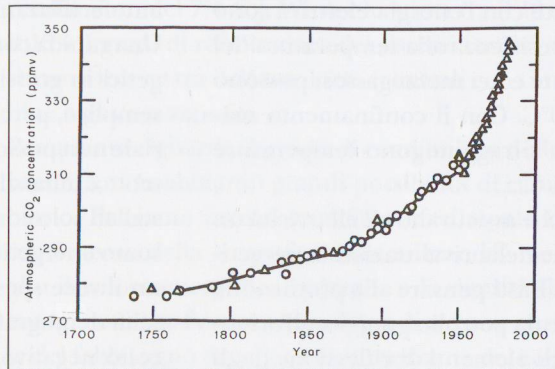


Fig.4 - La concentrazione di CO₂ nell'atmosfera in ppmv (fonte: Lashof e Tirpak, 1989)

La realizzazione di un'economia globale dell'idrogeno ricorda il fenomeno dell'accumulazione originale: innanzitutto ci vuole qualcosa (storicamente la tratta degli schiavi, più tardi il lavoro minorile) per creare qualcos'altro. Dal nulla non si crea nulla. Da dove prendiamo dunque l'energia per la produzione di energia? Quanta energia è necessaria per produrre energia e i capitali necessari potranno essere reperiti tempestivamente?

L'investimento necessario per l'espansione del nuovo sistema energetico è l'equivalente economico del concetto energetico di exergia: si tratta di forza da distribuire, libera, disponibile per la creazione di exergia. Il rapporto tra le due grandezze può essere definito come produttività exergetica. Quanto costa un chilowattora di energia libera (exergia)? Per analogia, il rapporto tra i tassi di variazione di queste due grandezze andrebbe definito come elasticità exergetica.

La statistiche economiche mostrano il consumo energetico, ma invece di riferirlo all'energia effettivamente utilizzata includono anche le perdite per trasformazione nelle fasi di produzione e di utilizzazione. Ciò significa che non si misura la qualità dell'energia, ma solo il consumo totale di energia primaria e secondaria. Per questo motivo, per il momento non è possibile rilevare statisticamente l'evoluzione e i costi dell'exergia.

Conclusioni

L'evoluzione, la variazione e l'utilizzazione adeguata della densità di energia sono elementi determinanti per l'evoluzione dell'uomo. La strada verso la "seconda civiltà solare" è lunga, ma inevitabile. Non esiste una scorciatoia. Dal punto di vista formale, si tratta di un problema derivante dalla "Critical Pathway Theory", secondo cui esiste solo un numero limitato di strade che portano dallo stato A allo stato B e di queste solo una è la strada ottimale. Ogni deviazione lungo la strada da A a B può sfociare in complessi sistemi di traiettorie che non porteranno mai a B. Anche il cosiddetto teorema di Turnpike può fornire delle indicazioni politicamente rilevanti per la formulazione di traiettorie energetiche ottimali dal sistema attuale, prevalentemente fossile, al futuro sistema a base di carburante sintetico (energia solare e nucleare quali energie primarie con l'idrogeno quale energia secondaria nonché energia utile).

Nell'attuale politica energetica dominano però riflessioni opposte. Per questo motivo, potrebbe passare molto tempo prima che la società sia disposta a risolvere il problema dell'approvvigionamento energetico utilizzando nuove tecniche, mature già oggi. Certo, dal punto di vista tecnico è possibile aumentare ulteriormente i rendimenti dei sistemi energetici nonché il rendimento della tecnosfera, mediante una gestione adeguata dell'entropia. Inoltre, siamo ancora distanti di alcuni decenni dall'utilizzazione commerciale dell'energia di fusione, anche se è giustificato supporre che le difficoltà tecniche tuttora esistenti potranno essere superate.

Nel complesso si può quindi concludere che gli ostacoli principali sulla strada verso la seconda civiltà solare, così come viene formulata da Winter, sono di natura più economica e politica che non tecnica. Manca la disponibilità a investire, in condizioni di crescente incertezza, in progetti energetici a lungo termine. Le priorità economiche puntano oggi sugli investimenti più o meno sicuri, ammortizzabili in breve tempo. E non vi è spazio per i sistemi energetici innovativi dal punto di vista tecnico.

Il maggiore ostacolo è l'ignoranza generale. Ci vorrà ancora molto tempo prima che l'opinione pubblica capisca che noi non "consumiamo" energia e materie prime, ma stati di ordine. Il nostro futuro non è minacciato da una mancanza di energia o di risorse, ma da noi stessi.

Summary

The author shows how human development in the course of history is closely related to energy supplies. Two extremely important factors are the second principle of thermodynamics and the energy density. The injection of "external energy" has been decisive for the evolution of mankind. Indeed, the evolution of more and more complex living species wouldn't even have been possible without free energy (exergy). Particular attention is given to the energy efficiency, i.e. to the strategy that minimises the increase of entropy. Electricity can play a key role in the management of entropy, provided it is used in an intelligent and sensible way. In the last part of the article, the author deals with the energetic future with some observations of energetic, economic and environmental nature concerning solar and nuclear energy. He then concludes with a significant sentence: "What threatens our future is not a lack of energy or resources, but ourselves."