



La Qualità dell'Energia nella Civiltà dell'Idrogeno



Maurizio Orlando

Idrogenoexpo, Economia dell'Idrogeno
Fiera di Milano, 21 febbraio 2003

Il futuro del petrolio

Tra circa 10 o 15 anni si prevede il picco dei consumi mondiali di petrolio con il raggiungimento del 50% delle riserve globali (Rifkin, 2002). Di conseguenza il flusso produttivo comincerà ad essere ridotto anche a causa dei maggiori costi di estrazione. Una comprensibile tendenza allo stoccaggio di scorte strategiche contribuirà a rendere il greggio meno disponibile con l'inevitabile aumento del prezzo del barile. A meno di sensazionali scoperte di nuove fonti energetiche, al momento non abbiamo alternative di staffetta per sostituire il petrolio, in particolare per quanto riguarda la possibilità di disporre di combustibili liquidi a pressione e temperatura ambiente (ad esempio, per i mezzi aerei, il trasporto di bombole per lo stoccaggio di combustibili sotto pressione pone non pochi problemi di carico). D'altra parte i biocarburanti non possono costituire una soluzione al problema perché un ettaro di terreno permette di ottenere in un anno meno di 1 tonnellata di combustibile e, ad esempio, occorrerebbe impegnare 200.000 ettari per garantire energia per 1 anno ai collegamenti aerei tra la sola città di New York e l'Italia. Se si considera poi il previsto aumento della popolazione mondiale, la maggioranza dei terreni coltivabili sarà prioritariamente destinata all'alimentazione piuttosto che alla produzione di biocombustibili. Questi, quindi, potranno costituire solo una minima percentuale nel bilancio energetico globale. Sembra perciò inevitabile avere, nell'immediato futuro, una minore energia disponibile con graduale aumento del prezzo della stessa.

Idrogeno, augurabile opzione

L'acqua ha una enorme diffusione sul nostro pianeta, ma per la produzione di idrogeno attraverso l'elettrolisi occorre impiegare molta energia elettrica, mentre, tramite reforming, è possibile estrarre l'idrogeno soltanto da altri combustibili. Quindi l'elemento più diffuso in natura non costituisce attualmente una vera fonte, ma solo un "vettore" dell'energia (quasi un "mezzo di trasporto"). Il passaggio all'idrogeno non risolverebbe quindi il problema dell'approvvigionamento energetico almeno nell'immediato futuro, ma, in tempi molto più brevi rispetto ad altre strade tecnologicamente ben più complesse (vedi fusione nucleare), diverrà senz'altro una vera e propria fonte energetica non appena sarà realizzata la dissociazione dell'acqua a bassa energia, sia attraverso processi fotocatalitici che con altre interessanti tecnologie in fase di sperimentazione. A quel punto saranno risolti non solo i problemi di approvvigionamento energetico e le emergenze ambientali (grazie ad emissioni inquinanti praticamente nulle), ma potrà essere realizzato un semplice modello energetico facilmente esportabile nei paesi in via di sviluppo, con un enorme balzo di civiltà per tutta l'umanità.

Tuttavia un deciso passaggio all'idrogeno implica, almeno nei primi tempi, una minore energia a disposizione, per cui diventa di primaria importanza iniziare per tempo un cammino di "riforme energetiche" profonde che non possono essere lasciate all'improvvisazione o alla solita cultura dell'emergenza, ma che devono essere al contrario introdotte da una oculata pianificazione a lungo termine. La figura 1 schematizza lo scenario di una prima fase di riconversione all'idrogeno.

CICLO DELL'IDROGENO

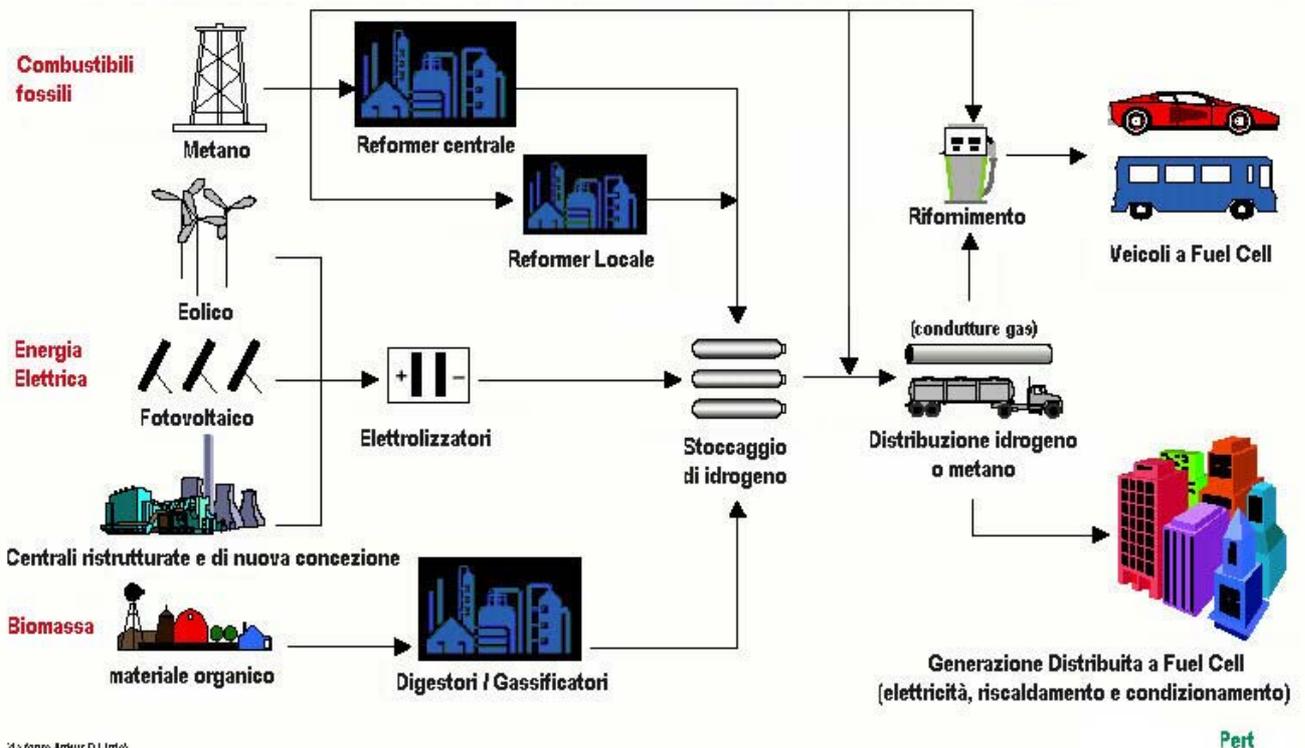


Figura 1

Meno energia disponibile, meno consumi?

Il nostro sistema economico per essere in buona salute ha bisogno di ragionare in positivo, con ottimismo e fiducia nel futuro. Vanno certamente tenuti lontani spettri come la diminuzione dei consumi e l'abbassamento dei livelli delle condizioni socio-economiche. In previsione di una minore energia disponibile a causa dell'impoverimento dei giacimenti e della mancanza di alternative di staffetta può diventare arduo, se non impossibile, mantenere costanti i consumi e quindi il tenore di vita. Ma questo apparente vicolo cieco può essere concretamente superato affrontando con decisione un aspetto molto diffuso, quasi dilagante: l'attuale bassissimo rendimento nell'uso dell'energia e il suo consequenziale spreco. Vuoi per carenze tecnologiche, vuoi per mentalità o per sostanziale mancanza di problemi di approvvigionamento energetico, la nostra civiltà si è sviluppata anche negli ultimi tempi senza badare troppo all'ottimizzazione dello sfruttamento delle risorse. Ma questa "caratteristica" si può rivelare ora una notevole opportunità perché, riducendo le perdite nel cammino dell'energia, è possibile mantenere le stesse condizioni socio-economiche e gli stessi bisogni dell'utenza, a valle, attraverso l'impiego di una minore quantità di energia a monte. E' come se in una rete idrica con ingenti perdite, in vista di una diminuzione di portata delle sorgenti, ci ponessimo semplicemente l'obiettivo di mantenere la quantità di acqua effettivamente utilizzata riparando le condutture.

Perdite di energia utile

Il nostro sistema energetico presenta perdite abnormi nel cammino dell'energia. Basti pensare, ad esempio, alla produzione di calore ottenuto dall'energia elettrica per condizionamento estivo o per semplice riscaldamento con resistenze elettriche. Infatti le centrali di produzione di elettricità (prevalentemente termiche) hanno perdite medie del 60-70% a cui vanno aggiunte le perdite nel trasporto, le perdite nella riconversione in calore, la dispersione termica degli edifici e dei dispositivi, ecc. Si ottiene così un rendimento finale veramente basso con la conseguenza di "buttare via", in molti casi, più del 90-95% di energia potenzialmente disponibile. Nei trasporti su gomma i motori a combustione interna hanno rendimenti circa pari al 20%, ma occorre anche considerare l'energia spesa per il trasporto del veicolo stesso

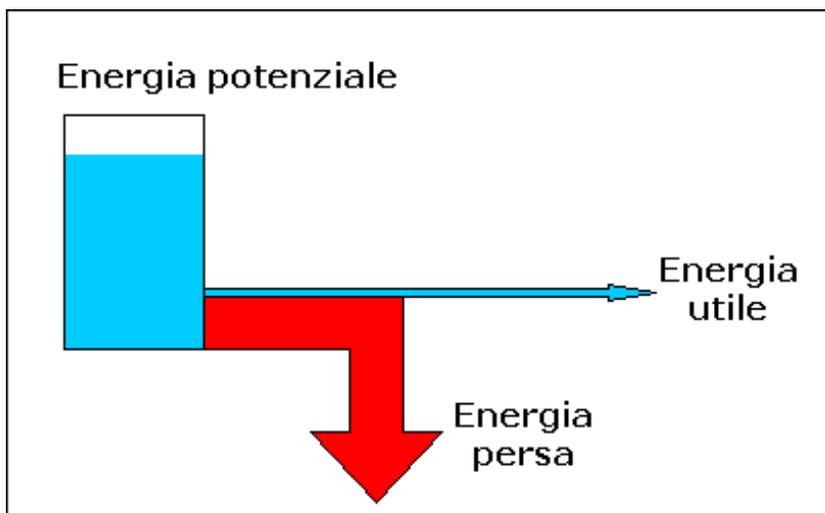


Figura 2

che supera di molto il peso utile trasportato. Anche in questo caso si supera il 90% di sperpero complessivo. La figura 2 mostra visivamente il rapporto tra energia utilizzata ed energia potenziale. Si potrebbe continuare l'elenco ricordando l'illuminazione, come pure altri esempi in tanti svariati altri campi. Ma le perdite non sono solo imputabili ai bassi rendimenti. Esistono

purtroppo anche gli sprechi che aggravano sensibilmente il problema. Si può ragionare a lungo sui rendimenti delle lampadine, ma se il flusso luminoso prodotto non è effettivamente utile perché, ad esempio, illumina stanze vuote, allora possiamo affermare che il rendimento (utile) scende a zero e la perdita sale al 100%. La filosofia dell' "usa e getta" fa finire in discarica tutta l'energia spesa per fabbricare i prodotti. Il loro "ri-uso" farebbe risparmiare tutta questa energia e, come seconda opzione, un serio riciclaggio ne limiterebbe quanto meno lo spreco in modo considerevole. Infatti, non solo non si riusa o non si ricicla in modo serio, ma nemmeno si recupera l'energia dai materiali gettati e ancora sfruttabili (come ad es. legno, carta, plastica, alluminio, ecc.). Identico discorso vale per il biogas disperso nell'ambiente da discariche di rifiuti solidi urbani o da rifiuti organici non sottoposti a processi di recupero. In quest'ultimo caso il danno è duplice, perché il metano è un gas 21 volte più insidioso dell'anidride carbonica per quanto riguarda l'effetto serra.

Come ridurre le perdite

La prima forma di riduzione delle perdite consiste nell'alzare gli attuali (bassi) rendimenti con tecnologie già consolidate o in via di avanzata sperimentazione. Ampliando la visione del problema, la filosofia che meglio si coniuga con gli alti

rendimenti è sicuramente la generazione distribuita, che prevede la produzione di energia elettrica a livello periferico, cioè diffusa capillarmente nei luoghi dove serve e non generata in modo centralizzato. In tal maniera non solo si evitano le perdite dovute al trasporto, ma, attraverso la generazione contemporanea di energia elettrica e calore, si recupera molta energia termica (per produzione di acqua calda, riscaldamento, condizionamento), con una drastica riduzione delle perdite. Nelle centrali tradizionali invece tutto il calore prodotto per il raffreddamento delle stesse viene generalmente disperso nell'ambiente con un notevole inquinamento causato dalle acque di scarico ad alta temperatura. Da evidenziare anche la conseguente sottrazione di risorse idriche vitali per l'agricoltura specie in periodo estivo. Tra l'altro anche le non buone previsioni sulle stesse risorse idriche future dovrebbero da sole imporre pianificazioni ad ampio spettro in campo energetico come, ad esempio, la stessa generazione distribuita o il divieto di costruzioni civili e industriali in tutti i terreni irrigui coltivabili. In primo luogo quindi la generazione distribuita implica un notevole risparmio energetico, nel caso poi venissero utilizzate fonti rinnovabili e tecnologie a bassissimo impatto ambientale, i vantaggi diventerebbero irrinunciabili. Una *fuel cell* può generare infatti elettricità e calore con rendimenti complessivi maggiori dell'80% e inquinamento nullo se alimentata a idrogeno. Nella generazione distribuita, poi, tutti i generatori decentrati e i carichi sono connessi in rete sia a livello elettrico di distribuzione che a livello informatico per telegestione e telecontrollo. I carichi stessi possono diventare "intelligenti" e permettere una gestione delle priorità in modo da mettere in attesa le utenze secondarie quando sono attive quelle primarie. Si potrebbe ad esempio mettere "in coda" una lavatrice mentre il forno sta funzionando e riattivarla quando il forno è arrivato a temperatura e il termostato ne interrompe momentaneamente l'assorbimento di energia. In questo modo, che tra l'altro non comporta sacrifici per l'utente, si evitano i picchi di assorbimento dell'energia che costringono a sovradimensionare la produzione sulla base del carico di punta piuttosto che sul carico medio, notevolmente inferiore al primo. Si potrebbe anche incentivare un contratto di fornitura domestica a bassa potenza per promuovere il risparmio o la diffusione di carichi "intelligenti". Nel settore automobilistico le *fuel cell* permetterebbero di raddoppiare il rendimento, senza contare naturalmente la ben più importante eliminazione degli inquinanti. Le migliori efficienze (a parità di energia utile) si traducono allora in un minore consumo di energia a monte dei processi stessi. Ma una maggiore opportunità di risparmio, che non implica affatto maggiori sacrifici, sta nella Civiltà dell'uso dell'energia, ossia nell'eliminazione degli sprechi. Ad esempio, con semplici dispositivi che accendano automaticamente l'illuminazione solo in mancanza di luce naturale e solo in presenza di persone si potrebbero risparmiare inimmaginabili quantità di energia, e, aspetto non trascurabile, spegnere la luce in un locale senza persone non costituisce affatto un sacrificio. Altri ingenti risparmi scaturirebbero dal riuso, dal riciclaggio, dallo sfruttamento diretto di beni che oggi finiscono in discarica e che rappresentano un grande sperpero di energia. Affrontando e ottimizzando invece aspetti vitali come la politica dei trasporti, l'edilizia industriale e residenziale, ecc., l'energia risparmiata potrebbe diventare ancora più elevata. Il tutto con il concreto obiettivo di consumare meno energia senza rinunce.

Generazione distribuita

La generazione distribuita ha una importanza fondamentale nella nuova filosofia energetica. Infatti permette di cambiare radicalmente il punto di vista e l'ottica della generazione, passando dalla filosofia dell' "uno per tutti" a quella del "tutti per uno". Ma "tutti per uno" non deve significare anarchia. Deve significare invece massima cooperazione, finalizzata alla fornitura complessiva del servizio, sotto l'égida di una *authority* che operi con finalità ed obiettivi precisi. In una rete distribuita ogni generatore può essere indipendente e dedicato al proprio carico oppure può vendere energia elettrica. In questa azione corale è di estrema importanza produrre complessivamente un'onda con buoni parametri elettrici. Infatti non sono presenti generatori prevalenti in grado di imporre il loro standard e la moltitudine di piccole unità può entrare in crisi per i moderni carichi che, a causa della presenza di componenti non

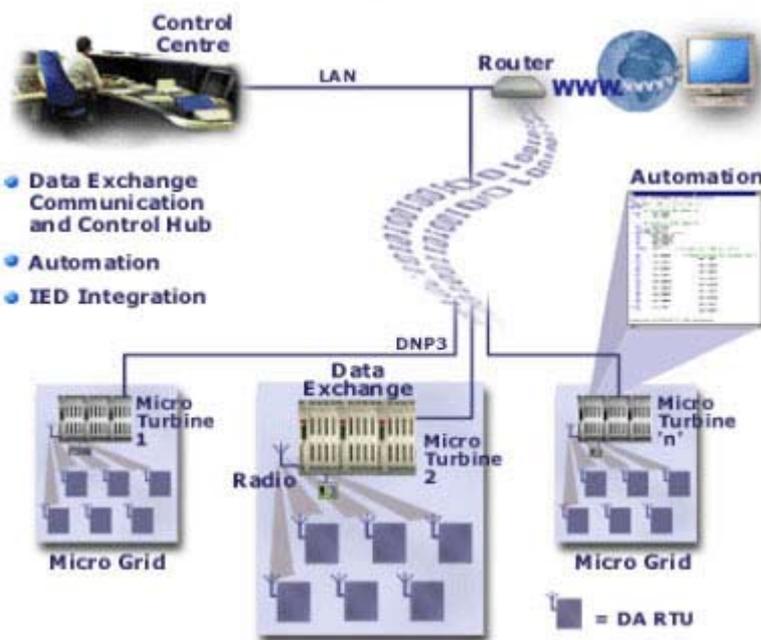


Figura 3 Interconnessioni di rete (Microsoft)

lineari, utilizzano l'energia a "strappi", richiedendo così grossi picchi di energia solo per brevi istanti. Purtroppo il servizio senza interruzioni rappresenta attualmente il principale obiettivo di qualità e i piccoli generatori distribuiti, in caso di guasti o indisponibilità, devono essere sostituiti o aiutati dai generatori vicini. Si comprende facilmente che "la rete" dovrà essere governata da una "intelligenza di controllo", sia locale che distribuita. Infatti gran parte della ricerca è concentrata su tali aspetti alquanto critici e determinanti nell'affermazione della nuova filosofia energetica. La figura 3 illustra una tipica struttura di interconnessione di generatori in riferimento all'impiego di microturbine. Un vantaggio enorme per tali ricerche sta nel fatto che sono a disposizione tutte le risorse progettate e sperimentate per la rete Internet, che presenta problematiche del tutto simili a quelle della generazione distribuita, compresa l'enorme numerosità degli apparati da interconnettere. Tali risorse software sono oltretutto prevalentemente di tipo "open source", ossia distribuite con i "sorgenti" in chiaro, per la massima trasparenza e scalabilità delle risorse, in modo tale da consentire di adattare perfettamente ogni applicazione alle effettive esigenze. Così una stessa risorsa potrà essere adottata su una sofisticata unità di controllo di una grande centrale o inserita in un semplice chip su di un piccolo carico per renderlo "intelligente". Non ultimo tali risorse sono ampiamente collaudate, in prevalenza praticamente gratuite e costituiscono quindi la base della ricerca nel settore della generazione distribuita. Tra queste risorse basta ricordare il protocollo TCP/IP

come base inossidabile della comunicazione di rete, i grandi risultati in materia di sicurezza dati ottenibili col il recente protocollo IPV6, l'eccezionale potenza di controllo e supervisione remota del sistema SNMP (*Simple Network Management Protocol*), le architetture CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) e TAO (*The Ace ORB*) che permettono di prescindere dall'hardware e dal software utilizzato. Ricordiamo poi la grande sicurezza e trasparenza offerta dal sistema operativo LINUX, essenziale in un settore di importanza strategica primaria come quello dell'energia dove anche attacchi di terrorismo informatico vanno previsti e prevenuti. Ma anche in questo caso le ricerche e le sperimentazioni effettuate per la rete Internet sono straordinariamente simili e quindi estremamente preziose. Di particolare interesse è anche il sistema ad onde convogliate di trasmissione dati PLC (*Power Line Communication*) che permette l'interconnessione di rete di tutti gli apparati sfruttando le già esistenti linee di distribuzione elettrica con enormi risparmi strutturali, senza necessità di costosi cablaggi aggiuntivi. In figura 4 si riporta un esempio di architettura avanzata di rete che utilizza TAO.

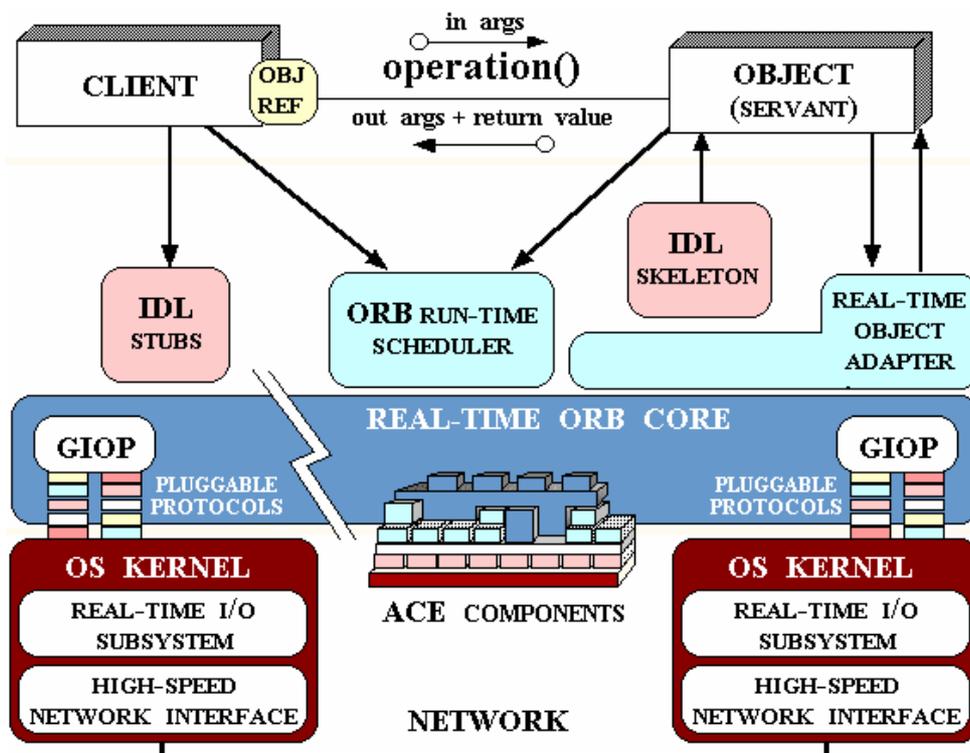


Figura 4. TAO: Architettura ORB per High-Performance, Real-Time CORBA (Schmidt)

Ma al di là delle singole soluzioni tecniche disponibili, che comunque accelerano notevolmente la ricerca e le sperimentazioni, è importante evidenziare ancora le positive implicazioni della generazione distribuita che evita le perdite nel trasporto dell'energia, ottimizza la produzione combinata di calore, aumenta di molto l'efficienza di produzione dell'energia, ha una vocazione intrinseca per l'idrogeno e per il biogas, comporta il massimo rispetto del territorio, favorisce la liberalizzazione controllata del mercato dell'energia (la crisi californiana insegna). Costituisce insomma una vera occasione di rinnovamento totale del settore energetico nel pieno rispetto ambientale.

Cambiare la visione dell'energia

Il passo decisivo da compiere, tuttavia, ha contenuti più profondi di quelli attinenti ad una semplice rivoluzione tecnologica: occorre favorire e attuare anche cambi di mentalità non secondari. Per fare un solo esempio: nelle nostre città i veicoli elettrici alimentati a batteria sono spesso indicati come panacea di tutti i mali dell'ambiente. In realtà sono pesantemente inquinanti se l'energia necessaria per la ricarica proviene da combustibili fossili con un impatto ambientale addirittura maggiore dei motori diesel per quanto riguarda l'emissione di anidride solforosa. Tale situazione è chiaramente evidenziata nella tabella di figura 5. Un veicolo elettrico a batteria infatti tiene pulita la zona in cui circola, ma sporca quella di produzione dell'energia (se ovviamente questa viene ricavata da centrali tradizionali). L'attenzione infatti va posta su come l'energia viene *prodotta* prima ancora di come venga *utilizzata*. Possiamo allora dire che troppo spesso trascuriamo le uscite dei sistemi nel senso che, nelle varie attività umane, gli inquinamenti prodotti sono considerati inevitabili e quindi sono di fatto ignorati. In senso più tecnico consideriamo tutti i sistemi termodinamici come chiusi in quanto ne trascuriamo le interazioni e gli effetti sugli altri sistemi. Ciò è molto grave, ma in realtà è altrettanto grave che venga trascurata anche la valutazione degli ingressi, ossia non si abbia nessuna sensibilità nel considerare l'effettivo valore delle risorse che entrano nelle nostre attività e nei nostri processi.

COMPARISON OF EMISSIONS FROM VEHICLES USING DIFFERENT FUELS			
	SO2	NOX	CO
Fuel Cell Engines			
Hydrogen Gas	0	0	0
Methanol	2	39	8
Combustion Engine			
Gasoline	48	205	700
Diesel	48	350	870
Battery-powered Electric Motor (emissions from generation of power to charge battery)	145	143	40

Source: Anthony DePalma, "The Great Green Hope: Are Fuel Cells the Key to Cleaner Energy?" The New York Times (October 8, 1997), C6.

Note: All emissions in milligrams per mile.

Figura 5

Arricchire il concetto di "qualità" dell'energia

E' un po' una caratteristica del nostro tempo occuparsi più di aspetti quantitativi che qualitativi, ma ciò che più sconcerta è che lo stesso concetto di qualità è miope, riduttivo e limitato ad aspetti che sono in ogni caso riconducibili alla quantità. E' alquanto significativo che la stessa "certificazione di qualità" (vedi ISO 9000) non coinvolga il senso innato di "prodotto buono", ma riguardi unicamente le procedure nei vari cicli di produzione. Con tali premesse sarebbe opportuno rivedere almeno la nomenclatura perché il termine "qualità" viene utilizzato in modo improprio e fuorviante. Non solo quindi le nostre carenze sono quantitative, ma la stessa qualità dell'energia è ora prevalentemente intesa solo come disponibilità, continuità e fluidità del servizio primario e dei servizi collegati. In riferimento all'energia elettrica, come già detto, l'attenzione è principalmente posta sulla mancanza di black out

e sui bassi tempi di riparazione dei guasti. Ma come è possibile considerare "di qualità" un'energia solo se disponibile, prescindendo dagli impatti ambientali non solo a valle, ma anche a monte dei processi? Come è possibile non avere nessuna considerazione per la "preziosità" delle fonti utilizzate? La figura 6 può sembrare una provocazione, ma purtroppo è la realtà di un sistema economico che non tiene in alcuna considerazione la qualità e la storia di quello che viene bruciato. Usare un violino Stradivari come legna da ardere ci fa rabbrivire perché noi sappiamo apprezzare la "Qualità" (ora quella vera) di quel "legno", che racchiude anni di lavoro e innumerevoli esperienze tramandate di generazione in generazione. Oltretutto non siamo nemmeno in grado di riprodurre un simile strumento e ciò accresce ancora di più il suo valore. L'analogia con il petrolio è immediata in quanto a monte dell'oro nero ci sono processi bio-chimici-fisici di milioni di anni, con enormi quantità di energia solare, con enormi energie liberate nei terremoti che hanno scaraventato nelle viscere della terra intere foreste. Bruciare il petrolio vuol dire perdere in un istante, per pochi spiccioli di energia, un patrimonio inestimabile costato una quantità di energia spropositata rispetto a quella concretamente utilizzata. Sappiamo trasformare questa preziosissima materia prima in materie plastiche riutilizzabili e trasformabili a loro volta, ma la sua "combustione" è un grave atto di inciviltà nei confronti dell'ambiente. Ciò dipende in particolare dal fatto che nella progettazione termodinamica non si considerano affatto la Qualità e la memoria dell'energia, ma solo i poteri calorifici inferiori dei vari combustibili per una valutazione esclusivamente quantitativa. Non a caso i primi 3 principi della termodinamica sono principi quantitativi. Ci manca, o meglio mancava, quella percezione di Qualità rispetto alla quale non è possibile essere soddisfatti del calore prodotto se a bruciare sono autentici violini Stradivari del 700.



Figura 6. Preziosità delle fonti

L'Energia

La svolta nella visione dell'energia arriva nel 1984 quando Howard T. Odum introduce il concetto di **eMergia** o memoria dell'energia. Poiché infatti la vita nel pianeta è prevalentemente dipendente dal sole, Odum utilizza proprio l'energia solare come grandezza universale di equivalenza per valutare tutte le energie a monte di un processo di trasformazione. Definisce l'emergia come la quantità di energia solare diretta e indiretta necessaria per ottenere un prodotto o un flusso di energia in un processo. Il passo è di straordinaria

Energia da combustibili

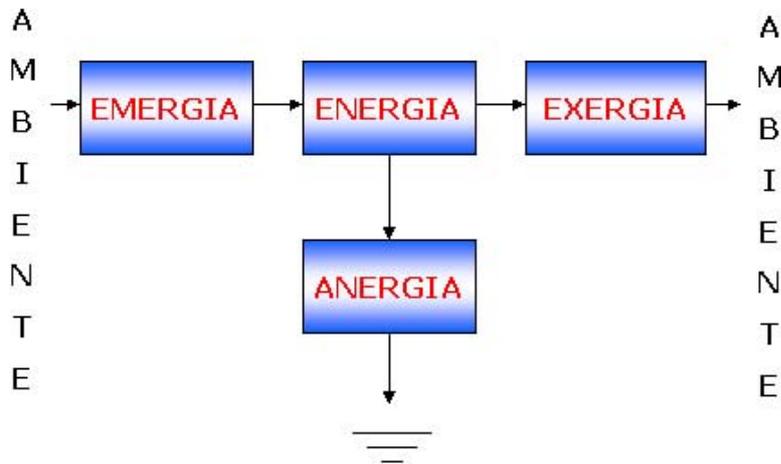


Figura 7. (Giannantoni, 1998)

importanza perché per la prima volta si considera il lavoro complessivo dell'ambiente nei processi di trasformazione ed è il primo passo nella direzione del superamento dei primi 3 principi della termodinamica. L'unità di misura della nuova grandezza emergia è il sej (solar energy joule) e la figura 7 illustra le sue relazioni con le altre grandezze che si fondano sugli altri principi termodinamici.

Emergia: lavoro complessivo compiuto dall'ambiente in secolari processi biochimici-fisici per rendere disponibile una data forma di energia

Energia: lavoro teoricamente estraibile da una fonte naturale

Exergia: lavoro massimo estraibile in un processo reversibile che perviene allo stato di equilibrio termodinamico con l'ambiente circostante

Anergia: energia comunque non utilizzabile (=Energia-Exergia).

Gli stessi rendimenti termici possono essere espressi in termini di exergia, ottenendo così valori concretamente aderenti alla realtà, con un'efficienza che, nella maggioranza dei casi, è molto lontana dal 100%, come mostrato nella tabella in figura 8 per diverse tipologie di impianti:

Impianto	Efficienza teorica	Efficienza energetica	Efficienza exergetica
Caldaia per il riscaldamento autonomo	100%(*)	~80%	~5%
Caldaia ad alto rendimento	100%(*)	~95%	~6%
Caldaia a condensazione	100%(*)	105%(*)	~7%
Centrale di potenza per produzione energia elettrica	~60%	~40%	~40%
Motore elettrico	100%	~98%**	~98%
Radiatore elettrico	100%	100%	~7%
Centrale di cogenerazione	100%	~80%	~40%
Condotta di calore	100%	~95%	~90%
Pompa di calore	~400%	~250%	~50%

(*) Con riferimento al potere calorifico inferiore

(**) Motori ad alto rendimento

Figura 8. Efficienze Energetiche ed Exergetiche (Giannantoni, 1997)

4° principio della Termodinamica

Lo stesso Odum nel 1994 introduce un più elevato concetto di Qualità nell'uso dell'energia riformulando (in termini energetici) un principio molto più profondo dei primi 3, già proposto da Lotka nel 1922 e noto come il 4° principio della termodinamica:

i sistemi che prevalgono sono quelli che si autorganizzano in modo da massimizzare l'emergia nell'unità di tempo rinforzando l'immissione di risorse con una efficienza ottimale (Maximum Empower Principle).

Nel concetto di emergia c'è la memoria del passato e nel "prevalere" c'è il futuro dei sistemi che si autorganizzano per massimi flussi di emergia (complessiva) con il minimo sforzo. Non viene enunciato un bilancio quantitativo di energia, ma viene per la prima volta introdotto un alto concetto di Qualità dell'autorganizzazione complessiva di un sistema. A titolo di esempio, in un albero, inteso come sistema, possiamo notare che le foglie si dispongono in modo da non farsi ombra a vicenda. Tutta la pianta cresce con il fine di massimizzare il flusso di illuminazione solare e quindi si autorganizza per massimizzare l'emergia ricevuta dal sole con le minime risorse possibili (e produrre nel contempo il massimo dei frutti). L'arricchimento introdotto da Odum del punto di vista sull'energia è tale che è stato necessario elaborare nuovi concetti matematici per poterne descrivere l'evoluzione dinamica (v. ad esempio il calcolo differenziale frazionario "incipiente" (Giannantoni, 2002)). Le ripercussioni poi di tale principio non sono solo di carattere termodinamico, ma (tra l'altro) anche di tipo economico, proprio perché se la nostra attuale visione dell'energia è limitata in senso termodinamico, lo è di conseguenza anche in senso economico. Un esempio emblematico è rappresentato dalla stessa definizione del PIL (Prodotto Interno Lordo), secondo la ben nota formula:

$$PIL = C + I + EXP - IMP$$

in cui C=Consumi, I=Investimenti, EXP=Esportazioni, IMP=Importazioni. Come è allora facile riscontrare, le risorse ambientali, intese come capitale naturale, non solo non sono prese in considerazione ma, paradossalmente, i danni arrecati all'ambiente addirittura incrementano il PIL a causa dell'aumento dei consumi e degli investimenti necessari alla bonifica del territorio (Giannantoni, 1998). Numerose sono le autorevoli proposte di grandi economisti e importanti organizzazioni internazionali (v. figura 9) tese ad inserire un fattore di correzione nella definizione del PIL al fine di considerare le variazioni del "Capitale Naturale" (ΔKn):

$$PIL = C + I + EXP - IMP + \Delta Kn$$

Infatti lo sviluppo economico non è fondato solo sulla economia di mercato, ma anche su enormi e indispensabili input provenienti dall'ambiente, di cui, ovviamente, deve essere considerato il valore intrinseco e non solo quello semplicemente economico.

Main Corrective Proposals

	INSTITUTION AND/OR NATION	PROPOSAL	CORRECTIVE SYSTEM	EQUIV. $\Delta k_n^{(2)}$
AT INTERNATIONAL LEVEL	ONU	Integrated economic environmental-system (SEEA)	Satellite System of the Environment ⁽³⁾	$\Delta k_n[1]$
	EUROSTAT	SERIEE	Satellite Account ⁽⁴⁾	$\Delta k_n[2]$
	ONU-ECE	Physic Accounting of flows of nourishing substances	Three blocks: human activities, material flows, environmental effects ⁽⁵⁾	$\Delta k_n[3]$
	OCDE	Integrated economic environmental-system	Satellite Accounts ⁽⁶⁾	$\Delta k_n[4]$
	FRANCE	Natural Patrimony Accounting (INSEE Institute)	Scheme of entire Natural Patrimony ⁽⁸⁾	$\Delta k_n[5]$
AT NATIONAL LEVEL ⁽⁷⁾	ITALY	Satellite Account and Natural Patrimony Accounts	Scheme of Natural Patrimony ⁽⁹⁾	$\Delta k_n[6]$
	GERMANY	Comprehensive System of Environmental Economy	Satellite Account similar to SEEA one ⁽¹⁰⁾	$\Delta k_n[7]$
	HOLLAND	National Accounting Matrix Including Environmental Accounts	Economic module, Environmental module ⁽¹¹⁾	$\Delta k_n[8]$
	NORWAY	Physic Accounts joint to the economic activity	environmental resources; (material resources ⁽¹²⁾	$\Delta k_n[9]$
	BOTSWANA	Interrelations between the economic system and the environment	Three accounts: environment, economic system and their interrelations ⁽¹³⁾	$\Delta k_n[10]$
	NEW ZEALAND	Environ. Input-Output tables	They use energy as unit of measure ⁽¹⁴⁾	$\Delta k_n[11]$
	JAPAN	GDP-(Defensive expenditures+Urbanization costs)	Defensive Expenditure Urbanization costs ⁽¹⁵⁾	$\Delta k_n[12]$

⁽¹⁾ The main corrective proposals (at the international and national level) are generally organized in terms of Satellite Accounts in order to consider the (physical and economic) Environmental effects but, at the same time, so as not to influence the Traditional System Accounts.

⁽²⁾ In this perspective, the different and pertinent $\Delta k_n [i]$ ($i=1,2,\dots,12$) has to be considered as the *equivalent* economic value of the respective quantities accounted by the various corresponding Satellite Accounts described hereafter.

⁽³⁾ The system named SEEA (System of Integrated Environmental Economic Accounting) includes a set of accounts both in monetary terms and in physical units which contain the aggregates pertaining to the Natural Capital (stocks and flows). The concept of Natural Capital is similar to the one developed by INSEE (France) in the sphere of Natural Patrimony Accounts.

⁽⁴⁾ It supplies with the aggregate relative to the expenditure for management and protection of the environment sustained in the national territory and the principal elements explaining the determination of this aggregate.

⁽⁵⁾ The blocks aim at monitoring and following the trend of particular elements necessary for the mineral nutriment of plants (nitrogen and phosphorus).

⁽⁶⁾ They have as objective the accounting of the expenditures to protect the Environment and the accounting (at the market value) of the elements of the Patrimony and the damages caused to the Environment.

⁽⁷⁾ At national level the different proposals are ordered according to the decreasing generality of the approach.

⁽⁸⁾ This system of Account reflects three different points of view: economic, ecological and socio-cultural.

⁽⁹⁾ It proposes developing three elements of the account system: environmental management and protection, satellite account according to SERIEE scheme and a general system of Natural Patrimony Account.

⁽¹⁰⁾ It was based on the INSEE scheme. Now it is based on the SEEA Satellite Account System.

⁽¹¹⁾ Presently the environmental module is principally aimed, at the present state, at accounting the pressures on the Environment generated by the different activities of production and consumption in terms of emission of polluting substances and the use of natural resources, and even the effects in terms of qualitative and quantitative properties of the Natural Patrimony.

⁽¹²⁾ It considers only physical quantities and neglects defensive expenditures to check the pollution.

⁽¹³⁾ This is an attempt at an integral application of the environmental accounting scheme elaborated by Alison Gilbert.

⁽¹⁴⁾ In 1998 some researchers of Canterbury University proposed an environmental version of input-output tables.

⁽¹⁵⁾ Defensive expenditure refers to the environmental damage caused by water and atmosphere pollution, and by wastes. The urbanization costs constitute a loss of social welfare.

Figura 9. Principali proposte correttive al PIL (Cialani et al. 2000)

Il 4° principio della termodinamica apre così la strada ad una nuova visione dell'energia e introduce per la prima volta efficaci strumenti per effettuare accurate analisi e pianificazioni territoriali, oggettive valutazioni degli impatti ambientali e dello sviluppo sostenibile utilizzando particolari diagrammi per la rappresentazione dei flussi energetici la cui struttura di base è esemplificata in figura 10. Attraverso questi bilanci energetici si ottiene una contabilizzazione della Qualità finalizzata ad uno sviluppo inteso come miglioramento della autorganizzazione a parità di materia-energia utilizzata. Il 4° principio getta inoltre solide basi per la soluzione dei problemi energetici ed ambientali proponendo come effettiva risorsa l'aumento di autorganizzazione dei nostri sistemi senza ricorrere ad aggiuntive fonti primarie di energia. In termini ambientali i benefici sono enormi, ma anche in termini di civiltà si ottiene un grosso passo in avanti, tanto all'interno dei paesi avanzati che nei confronti dei paesi in via di sviluppo. Questi, infatti, possono trovare una ottima e semplice risposta ad un dissennato (quanto disperato) ricorso ad ogni forma possibile di energia a basso (o bassissimo) costo, con conseguenze drammatiche non solo per il proprio territorio, ma anche per l'intero ecosistema terrestre.

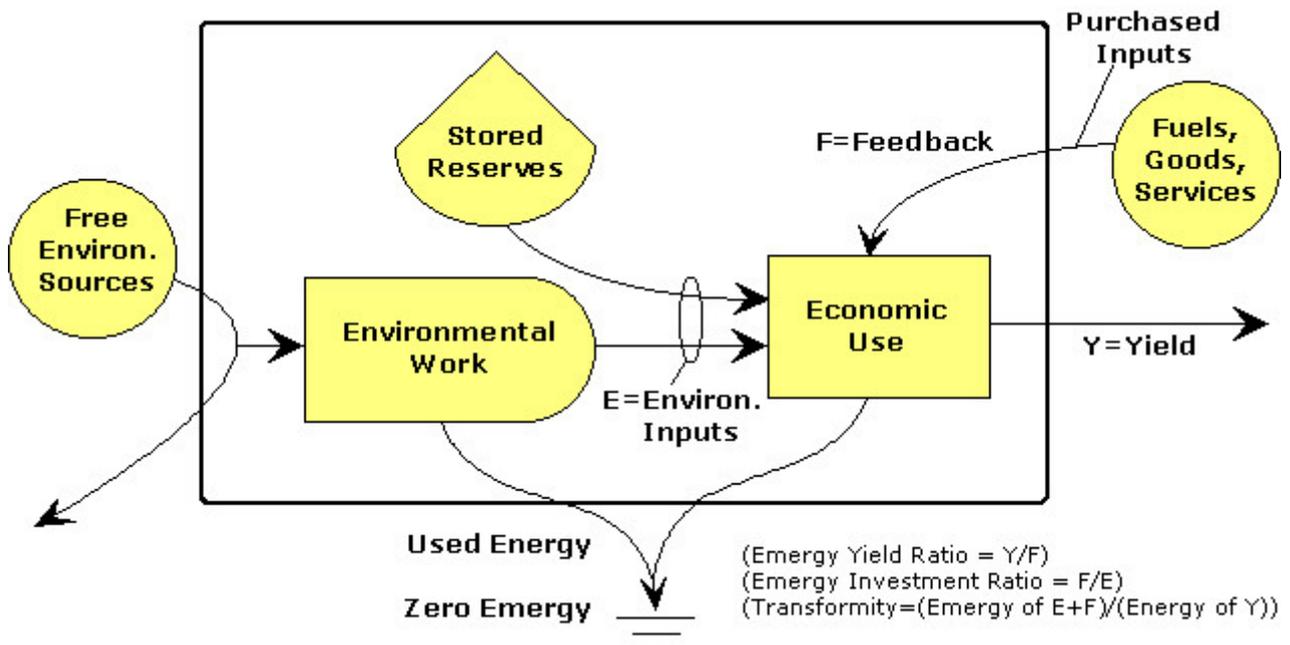


Figura 10. Interazioni Economia-Ambiente (Odum, 1994a)

Con il 4° principio della termodinamica la sostenibilità resta invece fondamentalmente vista come utilizzo delle risorse con un tasso non superiore a quello di rigenerazione naturale (Daly, 1991). Particolarmente interessanti e significativi sono i nuovi indici per le analisi energetiche dei territori come ad esempio l'Emergia pro capite, la *Renewable carrying capacity at same living standard* (popolazione sostenuta in un territorio allo stesso standard di vita usando solo risorse naturali rinnovabili), la *Developed carrying capacity at same living standard* (sviluppo che può essere sostenuto in un territorio allo stesso standard di vita usando solo risorse naturali rinnovabili), e così via. Ovviamente non possiamo in questa sede approfondire ulteriormente l'argomento. Pertanto si rimanda a testi più specifici per quanto riguarda l'insieme delle definizioni e delle applicazioni dettagliate.

Anticipare il passaggio all'idrogeno. Non subirlo

L'idrogeno rappresenta una scelta di Civiltà sotto tutti i punti di vista: dal rispetto dell'ambiente alla salvaguardia della salute, alla possibilità di esportazione nei paesi in via di sviluppo di un semplice modello energetico facilmente riproducibile, contrariamente a quanto accadrebbe con tecnologie avanzatissime (vedi fusione nucleare). Ma l'aspetto essenziale è che il passaggio all'idrogeno non è immediato e richiede un'attenta e seria rivisitazione dei nostri sistemi. Non possiamo correre il rischio di essere colti di sorpresa dalla prevista crisi petrolifera del prossimo decennio. Programmazione, riconversione di tecnologie, ricerca, pianificazione, razionalizzazione delle risorse, politica dei trasporti, educazione ambientale, sono tra le attività principali sulle quali si gioca questa partita tanto importante per le future generazioni. Come già detto è possibile affrontare la minore disponibilità di energia senza sostanziali rinunce (con qualche eccezione, che deve essere affrontata con più largo anticipo). Almeno per i primi tempi, l'auto a *fuel cell* da un lato permetterà di elevare i rendimenti e annullare gli inquinanti, ma dall'altro avrà prestazioni notevolmente inferiori rispetto a quelle dei motori a combustione interna. Nella nostra attuale civiltà la velocità purtroppo è un valore, un autentico mito. Arriviamo a sacrificare la salute e anche la stessa vita per conseguenze sia dirette che indirette. Qualsiasi progetto che riduca le prestazioni dei veicoli non sarà certamente ben accolto. Allora solo un'attenta e mirata campagna di educazione e sensibilizzazione potrebbe portare all'accettazione di un motore finalmente pulito, ma meno performante. Per lottare contro un mito si deve entrare nel tempio del mito, ed un esempio è costituito dal campionato mondiale di Formula 1. Se per ipotesi, a partire dal 2005, si introducessero nelle competizioni i motori a *fuel cell* alimentate a idrogeno, scaturirebbero scoperte e soluzioni vitali per il nuovo mercato, ma soprattutto verrebbe positivamente proposto un modello più aderente alle nuove e stringenti esigenze del pianeta. Sicuramente all'inizio si correrà con velocità inferiori a quelle attuali, ma l'intera umanità farebbe un enorme balzo in avanti sotto tutti i punti di vista.

La figura 11 dovrebbe essere già una realtà per l'urgenza e l'importanza dei temi in gioco. Purtroppo ora è solo una provocazione, perché forse si arriverà ad una scelta tanto "coraggiosa" solo dopo aver di fatto sperperato l'ultima goccia di petrolio.

Maurizio Orlando

info@emergy.org

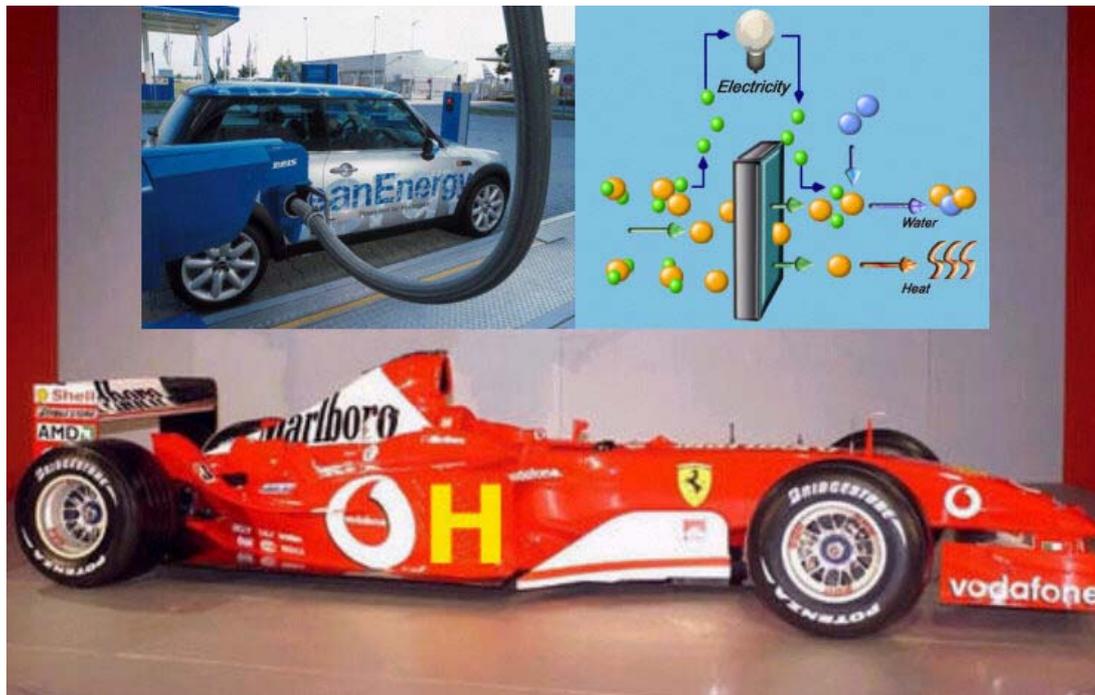


Figura 11. Formula1 a idrogeno dal 2005 ?

Bibliografia

- Brown M.T., Herendeen R.A., 1996. *Embodied Energy Analysis and Energy and Energy Analysis: a comparative view*. Ecological Economics 19 (1996), 219,235.
- Campbell M. C., Hinds D. K., Kapetanakis A. V., Levin D. S., McFarland S. J., Miller D. J., Southworth J. S., 1995. *Object-oriented perspective on software system testing in a distributed environment*. HP Journal, pages 75-81, December.
- Cialani C., Giannantoni C., 2000. *A New Approach to Future Energy Strategies Based on GDP. Proceedings of Advances in Energy Studies*. Porto Venere May 27-31. Ed Musis, Rome, pp. 397-408.
- Daly H. E, 1981. *Lo stato stazionario*, Sansoni, Firenze.
- Daly H. E., Cobb J. B., 1994. *For the Common Good. Redirecting the Economy Toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*, Boston, Beacon Press.
- Debusmann M., Krueger R., Weyer C., 1997. *Towards an Automated Management of Distributed Applications*. IFIP International Working Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS'97) (BTU Cottbus, 30 September - 2 October).
- Deri L., Bela B., 1997. *Static vs. Dynamic CMIP/SNMP Network Management using CORBA*. A. Mullery, editor, *Intelligence for Services and Networks: Technology for Cooperative Competition*. Springer Verlag, Berlin.
- Georgescu-Roegen N., 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Gaggioli R.A., 1988. *Available Energy and Exergy*. Int Journal of Applied Thermodynamics, Vol 1, pp. 1-8.
- Giannantoni C., 1997. *Seminari sulla "Gestione dell'Energia"*. Facoltà di Ingegneria, corso di laurea in "Ingegneria Gestionale", Maggio. Doc. ENEA EIAE 97035.
- Giannantoni C., 1998. *Environment, Energy, Economy, Politics and Rights. Proceedings of Advances in Energy Studies*. Porto Venere May 27-31. Ed Musis, Rome, pp.541-558.
- Giannantoni C., Cialani C., Mansueti A. 2002. *Analysis of investments based on the trilateral externality approach (firm, citizen, state)*. Ecological Indicators 2 (2002) 27-38.
- Giannantoni C., 2000. *New Energy Options and Strategic Choices Able to Link Demand, Technology and Culture. The Case of Hydrogen. Advances in Energy Studies*. Porto Venere May 2000 Pagg. 453-464.
- Giannantoni C., 2002. *The Maximum Em-Power Principle as the basis for Thermodynamics of Quality*. University of Florida- Gainesville. USA.

- Ginis R., Prichard J., Wolfe V., 1996. *The Design of an Open System with Distributed Real-Time Requirements*. IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium, June.
- Gokhale A., Schmidt D., 1997. *Evaluating CORBA Latency and Scalability Over High-Speed ATM Networks*. 17th International Conference on Distributed Systems (ICDCS 97) Baltimore, USA.
- Harrison T., Levine D., Schmidt D., 1997. *The Design and Performance of a Real-time CORBA Object Event Service*, February. Proceedings of the OOPSLA '97 conference, Atlanta, Georgia.
- Hollabaugh C., 2002. *Embedded Linux*, Addison Wesley.
- Logean X., Dietrich F., Karamyan H., Koppenhoefer S., 1998. *Run-Time Monitoring of Distributed Applications*. MIDDLEWARE '98 (The Lake District, England, 15-18 Sep. 1998), September.
- Maffeis S., 1995. *Adding group communication and fault-tolerance to CORBA*. Technical report. Department of Computer Science, Cornell University, Ithaca, NY.
- Natan Ron Ben., 1995 *CORBA - A Guide to Common Object Request Broker Architecture*. MCG.
- NREL, 1995. *Distributed Utility Technology Cost, Performance, and Environmental Characteristics*. June 1995, BREL/TP-463-7844. Authors: Wan, Yih-huei; Adelman Steve.
- Odum E., 1966. *Ecologia*, Bologna, Zanichelli.
- Odum H. T., 1983. *Maximum Power and Efficiency: a Rebuttal*. Ecological Modelling, 20 (1983), 71-82.
- Odum H. T., 1988. *Self Organization, Tranformity and Information*. Science, v. 242, pp. 1132-1139, Nov. 25.
- Odum H.T., 1994a *Ecological and General Systems. An Introduction to Systems Ecology* Re. Edition. University Press Colorado.
- Odum H.T., 1994a. *Environmental Accounting. Environ. Engineering Sciences*. University of Florida.
- Odum H.T., 1994b. *Ecological Engineering and Self-Organization. Ecological Engineering. An Introduction to Ecotechnology*. Edited by Mitsch W. and Jorgensen S. J Wiley & Sons, Inc..
- Odum H.T. 1994c. *Self Organization and Maximum Power*. Engineering Sciences. University of Florida.
- Odum H.T., 1995. *Public Policy and Maximum Empower Principle. Net EMERGY Evaluation of Alternative Energy Sources*. Lectures at ENEA Headquarters, May 24.
- Odum H.T., 1995. *Energy Systems and the Unification of Science. From Maximum Power*. The Ideas and Applications of H. T. Odum. C. A. S. Hall, Editor. University Press Colorado.
- Odum H.T., 2000. *Emergy Accounting. Environmental Engineering Sciences*. University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- Odum H.T. and Odum E. C., 2001. *A Prosperous Way Down*. University Press Colorado.
- Open Group, 1997. *Systems Management: Common Management Facilities*. The Open Group, Oct. 1997. CAE Specification c423.
- Object Management Group. 1995. *The Common Object Request Broker: Architecture and Specification*. OMG, Inc., July.
- Orlando M., Di Bartolomeo A., 2001. *Quale Energia*. Ingegneri Informa Pescara. Aprile. Pagine 23-34.
- Osborn, D. Collier, D., 1996. *Utility Grid-Connected Distributed Power Systems*. Prepared for the National Solar Energy Conference, ASES Solar 96, April.
- Pickin S., Snchez C., Yelmo J. C., Gil J. J., Rodriguez E., 1996. *Introducing formal notations in the development of object-based distributed applications. Formal Methods for Open Object-based Distributed Systems (FMOODS96)* (Paris, France, March 1996), March.
- Rifkin J. , 2002. *Economia all'idrogeno*, Mondadori.
- Rifkin J., 1982. *Entropia*, Milano, Mondadori.
- Tennis, M., Nogee, A., Jefferiss, P., Paulos, B., 1995. *Renewing Our Neighborhoods: Opportunities for Distributed Renewable Energy* Work performed by Union of Concerned Scientists, August.
- Vinosi S., 1997. *CORBA: Integrating Diverse Applications Within Distributed Heterogenous Environment*. IEEE Communications Magazine, February.
- Wackernagel M., Rees W., 1996. *L'impronta ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Immagine di copertina: fonte Cise.