

ALLA RICERCA DISPERATA DI UN MIRACOLO: AZIONI PROVVIDE ED ATTEGGIAMENTI EVERSIVI NELLA DIFESA DEL PIANETA TERRA

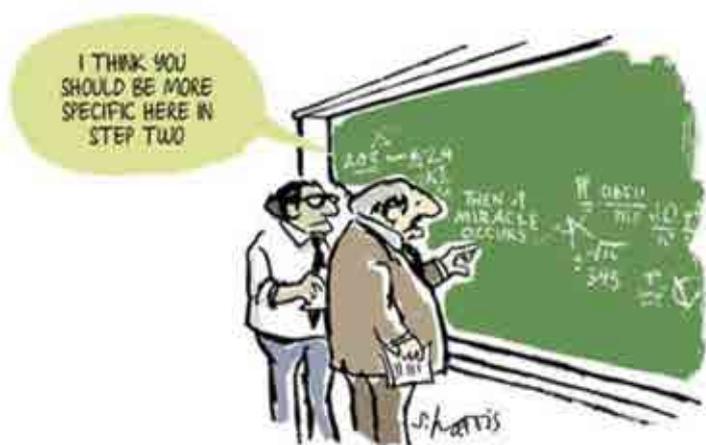


Fig. 1

“A questo punto interviene un miracolo”, ma forse è opportuno precisare meglio il significato di questa affermazione

Scienza e miracoli

Nella vignetta della Fig. 1 si osserva uno scienziato che illustra su una lavagna ad un collega una complessa dimostrazione nella quale ad un certo punto affiora la laconica affermazione: “Quindi interviene un miracolo”. Il collega reagisce manifestando l’opportunità che tale evento venga espresso in modo più specifico.

Per miracolo si intende un evento che supera i limiti della normale prevedibilità o vada oltre le possibilità dell’azione umana. Se qualcuno mi chiedesse se, sia pure eccezionalmente, ritengo che i miracoli possano verificarsi,

dovrei rispondere sinceramente che non mi sono mai imbattuto in eventi che si possano classificare come tali. Con altrettanta sincerità dovrei però aggiungere che essendo la mia esperienza limitata non mi sento di escludere che possano avere luogo.

Tuttavia se stiamo operando nell’ambito della ricerca scientifica e delle sue applicazioni, i miracoli vanno banditi: per decreto. Ciò non per ragioni epistemologiche, ma perché se per comprendere un fatto insolito nell’ambito delle nostre esperienze invocassimo un miracolo ci comporteremmo come un giocatore che usa carte truccate. Tutto questo senza

voler cadere nell’atteggiamento intellettuale chiamato scientismo, che svaluta ogni forma di sapere che non si riconduca alla scienza. Viceversa proprio partendo dalla consapevolezza che la scienza non sia in grado di risolvere tutti i problemi che nascono dall’osservazione della natura, non si devono accettare soluzioni che nascondono in forma mascherata approcci non praticabili.

Nel prosieguo mi propongo di illustrarlo prendendo come riferimento alcuni degli eventi associati ai modi con cui vengono affrontati problemi sollevati dai cambiamenti climatici.

GLI STUDI **ECONOMICI** EVIDENZIANO LA POSSIBILITÀ DI ORGANIZZARE LE **ATTIVITÀ** UMANE IN MODO TALE DA OFFRIRE UN RAGIONEVOLE BENESSERE GENERALIZZATO, GARANTENDO NEL CONTEMPO LA **TUTELA AMBIENTALE**. TUTTO CIÒ FRUENDO DELLE TECNOLOGIE ATTUALMENTE DISPONIBILI, PURCHÉ SI IMPONGANO A LIVELLO INTERNAZIONALE RADICALI CAMBIAMENTI STRUTTURALI RIGUARDANTI LE ATTIVITÀ UMANE, COINVOLGENDO ESSENZIALMENTE I SISTEMI POLITICO, FINANZIARIO ED ECONOMICO. IN REALTÀ PER NON IMPORRE MODIFICHE **SOCIO-POLITICHE** DIFFICILMENTE PRATICABILI, NON SI PUÒ PRESCINDERE DA UN PROFONDO IMPEGNO IN SETTORI DI RICERCA INNOVATIVI, ACCETTANDO IL RISCHIO ECONOMICO E TECNOLOGICO IMPOSTO DALLA LORO **APPLICAZIONE**

*Conferenza tenuta dall’Autore presso l’Accademia dei Lincei il 17 ottobre 2014.

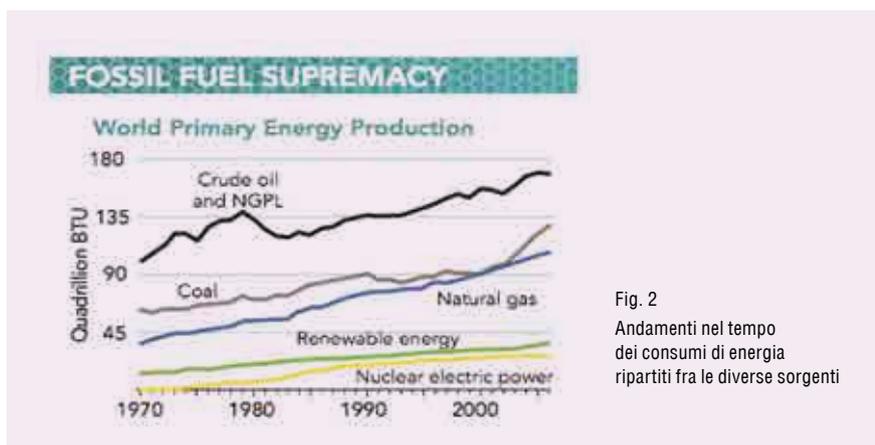


Fig. 2
Andamenti nel tempo
dei consumi di energia
ripartiti fra le diverse sorgenti

Processo all'energia

L'energia gioca un ruolo fondamentale nella crescita economica. La sua produzione a partire dal 1970, suddivisa fra le diverse fonti, è illustrata nella Fig. 2 [1].

La parte del leone è esercitata dai combustibili fossili, carbone e idrocarburi che da 300 anni hanno in gran parte rimpiazzato le fonti di energia rinnovabile, quali il vento, il sole e l'acqua, poiché coprono circa l'85% della produzione totale di energia. Pertanto l'economia industriale moderna è basata sugli idrocarburi e la sua attività principale è la combustione. Dopo la seconda guerra mondiale il consumo di energia ammontava a circa 3 TW di potenza ($TW=10^{12}$ watt), ma attualmente ne viene consumata una quantità corrispondente a circa 16 TW di potenza con aumento di circa 0,2 TW/anno e con emissione di una quantità di CO_2 che ammonta a circa 35 Gt/anno. In questo quadro risultano giustificate le preoccupazioni sul riscaldamento del pianeta dovuto alla CO_2 ed al particolato prodotti nella combustione.

Tuttavia dobbiamo prendere atto che non costituisce per tutti un motivo di preoccupazione. In un recente volume dal titolo "Windfall, the booming business of global warming" l'autore, McKenzie Funk [2] espone l'esperienza maturata in un viaggio durato sei anni per esaminare come ci si prepari a vivere in un pianeta più caldo, approfondendo l'influenza della fusione dei ghiacci, della desertificazione e dell'aumento del livello delle acque marine. Ne emerge, paradossalmente, che il modo migliore per comprendere la catastrofe imminente è quella di osservarla con gli occhi di chi la percepisce come una opportunità di intraprendere affari, trasformando una crisi globale nell'occasione di fare profitto a breve termine.

Dibattiti e proposte

Lo spinoso problema della riduzione delle emissioni di anidride carbonica è stato recentemente riesaminato da Paul Krugman, premio Nobel per l'economia, in polemica con Roger Pielke jr., climatologo dell'Università del Colorado. In uno scritto di quest'ultimo si afferma esplicitamente "Dal momento che fermare la crescita economica è una strada che nessuno prende in considerazione, in Cina o in qualsiasi altro posto, e dal momento che l'innovazione tecnologica non avviene per decreto, di fatto il concetto di un tetto alle emissioni non è realistico".

L'analisi è basata sull'impiego della identità di Kaya che può essere formulata come segue [3]:

$$\text{emissione} \equiv (\text{popolazione}) \cdot (\text{energia/popolazione}) \cdot (\text{emissione/energia})$$

Mette in evidenza che le emissioni globali di anidride carbonica dipendono dal prodotto dei tre fattori al secondo membro. Il primo esprime l'andamento della popolazione mondiale ed è in aumento nel tempo come risulta dai dati demografici. Anche il secondo tende ad aumentare, perché esprime il consumo di energia pro capite poiché contribuisce a migliorare lo *Human Development Index* (HDI) dei Paesi in fase di sviluppo che tendono a convergere verso lo stato di benessere di quelli sviluppati. Quindi, conclude Pielke, limitare le emissioni senza fermare la crescita è logicamente impossibile.

Il riferimento alla logica ha suscitato il disappunto di Krugman, il quale ha osservato che l'identità di Kaya include anche il terzo fattore in base al quale le emissioni di anidride carbonica possono essere controllate mediante

opportuni incentivi che orientino la scelta dei procedimenti di produzione dell'energia. In particolare fruendo di fonti *carbon free* quali la nucleare, l'idroelettrica, l'eolica, la solare e in minor misura la geotermica.

Quindi limitare le emissioni è logicamente possibile.

Chi ha ragione?

Che pianeta mi hai fatto?

È possibile costruire sulla terra un mondo di nostra piena soddisfazione, partendo dalla constatazione che l'attuale sistema produttivo ha portato miliardi di persone fuori dalla povertà offrendo loro un dignitoso standard di vita? Questa prospettiva era stata anticipata da Maynard Keynes nel 1932 e meriterebbe una rivalutazione, se non altro perché si tratta di una delle poche previsioni di successo effettuata nell'ambito delle scienze economiche. Il mondo, grazie alle tecnologie, frutto dell'ingegno umano, si sta avviando verso una abbondanza di beni di consumo, con il pericolo però di raggiungere un punto critico di non ritorno per i danni arrecati all'ambiente. Fruendo di questa situazione è possibile costruire un futuro sostenibile? Ci ha provato, almeno teoricamente, Peter Viktor un economista ambientale della York University di Toronto, che ha rimodellato l'economia canadese sulla base di tre approcci [4]:

- nessun cambiamento, ovvero *Business as Usual* (BUA);
- soppressione di ogni forma di crescita economica;
- transizione gestita verso una situazione di stabilità economica stazionaria che non comprometta lo stato fisico e chimico del pianeta.

I risultati ottenuti riguardano rispettivamente le emissioni di CO_2 e l'evoluzione del GDP (*Gros Domestic Product*, o PIL) estrapolato sino al 2035 [5]. Da essi emergono i seguenti scenari:

- 1) l'approccio BUA, come era già noto, porta ad un elevato aumento della CO_2 nell'atmosfera unitamente ad un aumento del reddito;
- 2) la penalizzazione della crescita genera una catastrofe economica con aumento della disoccupazione e della povertà;
- 3) l'impiego delle carbon-tax, di programmi anti povertà e della riduzione delle ore di lavoro porta ad una stabilizzazione di uno stato stazionario, con bassa livello di emissione della CO_2 e con un reddito pro capite ad un livello relativamente elevato.

In conclusione il terzo approccio sembra l'uovo di Colombo perché prospetta condizioni del tutto accettabili per la tutela del pianeta garantendo un ragionevole benessere per la società umana. In sostanza si tratta di un risultato positivo che tuttavia lascia aperti importanti quesiti sulla sua applicabilità in termini concreti anche se vengono offerte idee per conseguire l'obiettivo. In particolare il raggiungimento di un accordo internazionale, l'imposizione di leggi, regolamentazioni, tasse, sussidi, l'impiego delle nuove tecnologie ed infine in cambiamenti strutturali del sistema bancario e finanziario. Si dovrebbe quindi convincere i politici e la popolazione di tutto il mondo di cambiare il modo di vita, includendo gli abitanti dei Paesi in via di sviluppo che tendono a convergere verso lo stato di benessere dei Paesi ricchi. Si tratta in sostanza di un cambiamento epocale che potrebbe includere anche la pianificazione familiare (per decreto). È però interessante osservare che la parte scientifica del programma risulta la più facile da perseguire poiché si basa su tecnologie note. In sostanza il successo del programma riguarda più la politica che la scienza. In altri termini le "logicamente" possibili soluzioni dei problemi economico-ambientali non possono prescindere dal fatto che, come diceva Socrate per rimanere nell'ambito filosofico, per praticare il bene non è sufficiente conoscerlo: bisogna anche amarlo.

Equilibrio, stazionarietà e risorse

La termodinamica gioca un ruolo primario nella soluzione dei problemi concernenti le trasformazioni dell'energia, coinvolgendo gli stessi sistemi biologici. Recentemente ha acquistato credito anche nell'analisi dei sistemi economici che coinvolgono flussi di lavoro e di capitali [6], arricchendo il loro linguaggio attraverso l'impiego di termini, talora impiegati in modo improprio, quali equilibrio e sta-

zionarietà. Già dal 1948 John Stuart Mill per contrastare l'opinione che non esistono limiti alla crescita economica aveva preconizzato l'avvento di uno stato stazionario facendo così affiorare una prospettiva che sarebbe diventata centrale nei successivi dibattiti sullo sviluppo sostenibile. Trascurando però il fatto che le attività economiche sono basate sulla fruizione di risorse naturali, in particolare energetiche, il cui depauperamento pone un limite alle attività produttive. Ovviamente se fossero molto elevate rispetto alla quantità che viene atinta nel tempo si può presentare una situazione di pseudo stazionarietà, che lascia però aperti i rischi sull'ambiente se non

che proviene dal sole è di alta qualità poiché ha un basso contenuto entropico a differenza di quella che viene rilasciata. In altri termini il pianeta è soggetto ad un flusso di entropia con un bilancio negativo, simile a quello invocato da Schroedinger per gli organismi viventi, nel suo libro "Che cosa è la vita". Tale interessante analogia è stata colta dall'economista rumeno N. Georgescu-Roegen, ed è stata successivamente sviluppata da Henry Daly [7] osservando che, se nell'ambito di un sistema economico hanno luogo flussi circolari stazionari di materia ed energia, si può stabilire una condizione di quasi stazionarietà per l'intero sistema, pur avendo luogo un depauperamento

delle risorse, come viene illustrato nella Fig. 3.

Nella termodinamica solo una parte dell'energia chiamata libera, associata alle variabili macroscopiche soggette a moti relativamente lenti, può essere utilizzata per produrre il lavoro (meccanico, termico, elettrico, chimico...) in grado di modificare la struttura fisica e chimica dei sistemi. L'energia associata ai moti rapidi delle variabili atomiche microscopiche, espressa dal prodotto della temperatura assoluta per l'entropia, non è in grado di svolgere lavoro ed è pertanto considerata inutile. Salvo naturalmente la presenza di differenze di temperatura nel cui caso si può ricavare lavoro dall'energia termica con un rendimento sancito dal teorema di Carnot. In sostanza l'impiego dell'energia libera pone l'accento sulla qualità

dell'energia, cogliendo l'importante aspetto che solo parte di essa può essere convertita in lavoro. La presenza sul pianeta di situazioni locali di squilibrio viene espressa dal valore di una grandezza chiamata exergia [8], che, costituisce una forma dell'energia libera, che, a differenza dell'energia, non si conserva, mentre la sua variazione fornisce lavoro utile. Una risorsa energetica è costituita da materia con un elevato contenuto di exergia poiché

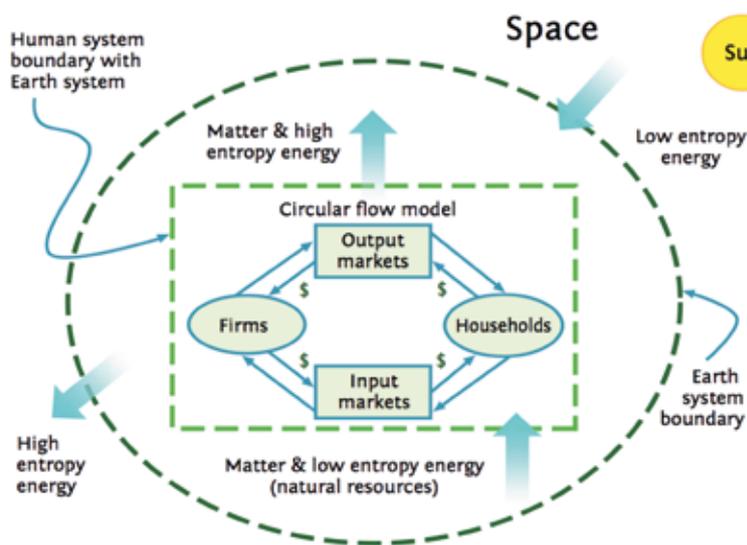


Fig. 3

L'economia è soggetta a vincoli biofisici conseguenti dal fatto che si possono individuare dei confini fra il mondo economico riguardante le attività umane (rettangolo tratteggiato) e il mondo della natura comprendente gli oceani, le foreste, i terreni e l'atmosfera, i cui confini con il cosmo sono indicati dal cerchio tratteggiato. La terra è soggetta a due flussi di uguale energia raggiante rispettivamente verso l'interno e verso l'esterno. Il primo a basso contenuto entropico ed il secondo ad alto contenuto entropico. La sostenibilità richiede che le attività economiche siano compatibili con i vincoli che il sistema esterno impone a quello interno

vengono escogitati procedimenti adeguati per contrastare gli effetti nocivi degli scarichi derivanti dai processi antropici.

Poiché in prima, e buona, approssimazione i bilanci di materia ed energia della terra si possono considerare nulli, essa dovrebbe essere assimilata ad un sistema termodinamico isolato soggetto a trasformazioni che la conducono verso uno stato di equilibrio in corrispondenza del quale cessa ogni attività. In realtà l'energia



non si trova in equilibrio con l'ambiente. La terra viene investita da un flusso di exergia proveniente dal sole che ammonta a circa 100.000 TW, raggiunge il pianeta dove viene impiegata nei processi naturali associati ai moti marini ed atmosferici, alle trasformazioni fisiche o chimiche di natura geologica e allo sviluppo dei processi biologici attraverso i quali contribuisce a ricostruire le risorse.

Crescita e sviluppo

La fotosintesi è un processo naturale, frutto dell'evoluzione, in virtù del quale gli organismi vegetali sono in grado di catturare l'energia della luce solare e convertirla in energia chimica che può essere successivamente rilasciata per alimentare le attività degli organismi viventi. In circa 4 miliardi di anni ha guidato parte del flusso di exergia proveniente dal sole verso la produzione delle complesse strutture che hanno trasformato il pianeta attraverso lo sviluppo degli organismi viventi e le corrispondenti modifiche del mondo fisico, fra le quali in particolare la comparsa e l'accumulo dell'ossigeno nell'atmosfera. Globalmente avviene la reazione fra anidride carbonica ed acqua per formare carboidrati, aventi un elevato contenuto di energia libera. La quantità di exergia proveniente dal sole impiegata nei processi fotosintetici ammonta a circa 90 TW. Lo studio in termini evolutivi e chimico-fisici della fotosintesi offre una eccellente esemplificazione di come i sistemi aperti possono essere compresi in termini di gradienti di energia ed entropia, nel cui ambito emergono sistemi complessi che si adattano al mondo esterno attraverso la fruizione di feedback endogeni. Tali gradienti operano sinergicamente nell'ambito di sistemi più ampi resistendo alla degradazione attraverso la formazione di nuove strutture, che fanno intervenire meccanismi di rigenerazione operanti in modo simile ai processi autocatalitici.

In larga misura il progresso tecnologico procede attraverso la miniaturizzazione degli impianti che richiedono una minore quantità di materiali ed un minore impiego di energia per la loro gestione [9]. Viene così confermata la distinzione fra crescita, intesa come espansione per solo accrescimento in termini materiali ed energetici, e sviluppo in cui prevale l'aumento del livello organizzativo inclusivo degli indicatori del benessere. Nella nostra società sono necessari entrambi, ma con il passare del tempo la prima deve cedere il passo al secondo.

Nel quadro precedente è legittimo ritenere che non ci siano limiti allo sviluppo, ma tuttavia perché possa proseguire al ritmo attuale è necessario che:

- esista un accumulo o un avvicendamento adeguato di risorse, tale da garantire l'approvvigionamento energetico;
- esista la capacità di impedire che un troppo intenso impiego dell'energia, in particolare attraverso la combustione, provochi indesiderate evoluzioni ambientali.

"Fine del petrolio" recita uno slogan inteso a trasmettere la preoccupazione per l'esaurimento della più importante delle risorse. Con sgomento perché se ciò si verificasse l'attuale società dovrebbe fronteggiare una crisi drammatica. In realtà la scoperta di nuovi giacimenti non tende a diminuire, mentre sta prendendo piede la prospettiva di sfruttare su larga scala il metano di cui sono impregnate alcune rocce. Dovremmo quindi chiederci perché il pianeta sia così ricco di idrocarburi e quali ne siano le conseguenze sulle strategie energetiche. Infatti anche se la produzione di idrocarburi sembra assicurata per decine di anni la sfida viene trasferita sulla sostenibilità, intesa a:

- controllare il riscaldamento globale;
- diminuire, o minimizzare, la volatilità dell'approvvigionamento dell'energia stabilizzando il clima politico;
- agevolare la transizione dai combustibili fossili alle energie alternative.

Gli approcci per fronteggiare i precedenti problemi sono stati, e sono tuttora l'oggetto di dibattiti, prese di posizione politiche, ricerche e proposte tecnologiche che si protraggono da mezzo secolo, cercando di cogliere una possibile transizione verso una era post petrolifera mantenendo sostanzialmente le attuali condizioni di vita. Con risultati modesti come viene confermato dai conflitti fra i climatologi, unitamente al sostanziale fallimento del protocollo di Kyoto [10].

Una proposta radicale concerne la cattura dell'anidride carbonica prodotta nei processi di combustione e sua successiva sequestrazione negli oceani e nel sottosuolo terrestre. Nella sostanza si tratta di trasferire a livello geo-ingegneristico alcuni processi chimico-fisici la cui gestione in laboratorio appare praticabile. Incerto appare però il suo trasferimento su una scala compatibile con la quantità di anidride carbonica liberata attualmente nella produzione di energia.

Dopo anni d'indagine che hanno coinvolto una parte della comunità scientifica mondiale sono stati attivati 4 impianti con capacità di sequestrazione ammontanti a circa lo 0,1% della CO₂ emessa. Altri impianti sono in fase di sviluppo, ma le prospettive "sono incerte anche se la promessa è grande." (*Science*, settembre 2009). Più recentemente si riconosce che "tale processo permette di intaccare le emissioni globali, ma solo nell'ambito di un ampio programma di investimenti ed incentivi. La tecnologia è pronta, ma i costi elevati ne impediscono l'attivazione" (*Nature*, maggio 2014). Un percorso diverso concerne l'incentivazione delle fonti di energia alternative ai combustibili fossili, privilegiando la produzione diretta di energia elettrica. Le scelte devono risultare sicure, cosa da alcuni ritenuta non valida per la fonte nucleare, e facilmente accessibili, cosa solo in parte valida per le fonti solare ed eolica. Infatti un loro esteso impiego trova l'ostacolo della loro periodicità e stocasticità, associate alla mancanza di tecnologie in grado di immagazzinare quantità adeguate di energia elettrica. Attualmente l'ammontare di energia prodotta dalla fonte solare è inferiore allo 0,3% della quantità globale prodotta.

Le biomasse comprendono tutti quei materiali di origine vegetale che non hanno subito un processo di fossilizzazione e che possono essere utilizzati per la produzione di energia. Rientrano nelle fonti rinnovabili perché l'anidride carbonica emessa dalla loro combustione è la stessa che le piante hanno assorbito per svilupparsi. Fra i carburanti da loro ottenuti occupa una posizione di primo piano l'etanolo che può essere direttamente impiegato senza essenziali modifiche dei motori a combustione interna. Purtroppo però l'intensificazione dell'uso dei prodotti agricoli per produrli sta depauperando le risorse naturali. Secondo stime ragionevoli questa tendenza sarebbe responsabile dell'aumento del prezzo dei prodotti alimentari influendo in modo significativo sul loro mercato. In sostanza l'impatto ambientale dei biocarburanti è complesso e controverso per l'influenza che esercita sullo sfruttamento della terra e per il rischio di compromettere la filiera agricola. Sta però emergendo la sensazione che le strade sino ad ora adottate per l'impiego delle biomasse nel settore energetico costituiscano solo una fase interlocutoria verso approcci più innovativi ancora in fase di ricerca.

Per concludere è opportuno ricordare che Vaclav Smil, persona di grande competenza sui problemi energetici, in un articolo pubblicato su *American Scientist*, May 2011, afferma: “L’entità del passaggio dai combustibili fossili alle altre fonti implica una enorme richiesta di infrastrutture dovuta alla inerentemente bassa densità di potenza dei flussi energetici che vogliamo catturare” [11].

Quasi a confermare tali affermazioni l’*Economist*, (October 2013, *How to lose half a trillion euros*), ci informa che nel giugno del 2013 in Germania il prezzo dell’elettricità è diminuito grazie agli incentivi devoluti alle rinnovabili. Tuttavia, si è presto constatato che tale crescita nella produzione elettrica tramite la sorgente solare, il cui impiego è limitato alle ore diurne, compromette la stabilità della generazione globale perché mette a repentaglio l’impiego delle consuete, tecnologie. Un riequilibrio della situazione richiede un aggiornamento della rete il cui costo previsto ammonta a circa mezzo trilione di euro.

La minaccia incombente: il trasporto

Gran parte del petrolio viene impiegato nel trasporto con un aumento nel tempo da far ritenere che le emissioni raggiungeranno un livello così elevato per cui non sarà più possibile imporre un limite alla concentrazione della anidride carbonica presente nell’atmosfera [12]. Per ovviare a questo pericolo nel 1970 presso la General Motors è stato proposto di impiegare l’idrogeno quale combustibile pulito, essendo l’elemento più abbondante nell’universo e presente in grande quantità sulla terra nell’acqua. Dimenticando però che l’acqua non è una risorsa energetica perché si trova in equilibrio con l’ambiente. L’idrogeno può essere ottenuto mediante la reazione di *steam reforming* in cui un idrocarburo, quale il metano, viene fatto reagire con acqua, ottenendo idrogeno unitamente ad anidride carbonica. Alternativamente si ottiene per decomposizione dell’acqua per elettrolisi, ma il costo dell’energia elettrica impiegata è sicuramente più elevato di quello che ci può restituire la combustione dell’idrogeno. Per rendere accattivante la proposta si è insistito sui vantaggi dell’impiego di un ciclo integrato nel quale l’elettrolisi viene alimentata con l’energia elettrica ottenuta per via solare o eolica oppure l’anidride carbonica viene eliminata per sequestrazione.

Se escludiamo qualche applicazione sporadica dopo più di quarant’anni si può solo prendere

atto del fallimento di una proposta che ha goduto di un forte supporto mediatico, veicolato da alcuni economisti, quale Jeremy Rifkin [13].

Prospettive

La crisi ambientale ha fatto riaffiorare tecnologie che appartengono al passato, quali i mulini a vento, le biomasse, le celle a combustibile, le automobili elettriche e ibride. Nel prendere atto dei modesti risultati ottenuti, nasce purtroppo la sensazione che solo l’intervento di approcci profondamente innovativi possa contribuire ad affrontare con efficacia i problemi che si stanno prospettando senza dover imporre modifiche sociali e politiche difficilmente praticabili. Questo fatto ci pone di fronte ad un fondamentale problema riguardante lo sviluppo della società umana: quali sono i presupposti perché emergano nuove svolte tecnologiche, ed in quali settori? Da parte di alcuni si sostiene che la prospettiva che si verifichi a breve tempo una situazione simile a quella dell’era industriale appare improbabile, anche se la comunità scientifica è

È difficile fare previsioni, in particolare sul futuro, ma tuttavia se prendiamo ispirazione dal passato dobbiamo constatare che la presenza di un meccanismo di feedback dell’informazione con una velocità che aumenta esponenzialmente ha favorito lo sviluppo di nuove tecnologie. Una esemplificazione significativa si ottiene dalla legge di Moore-Kurzweil, sulla evoluzione delle capacità di calcolo in funzione del tempo, come illustrato nella Fig. 4.

Si può osservare che tale aumento non si riferisce al miglioramento di una specifica tecnologia, quella dei semiconduttori, ma parte dagli abachi passando attraverso i dispositivi elettromeccanici, i relè, i tubi a vuoto, i transistor per arrivare ai circuiti integrati. Che cosa riservi il futuro non lo sappiamo, ma possiamo azzardarci a scommettere che la curva continuerà ad impennarsi.

I previsti progressi nel calcolo porteranno sicuramente significative ricadute anche nel settore energetico per quanto concerne una migliore gestione del trasporto con vantaggi non indifferenti nel consumo dei carburanti

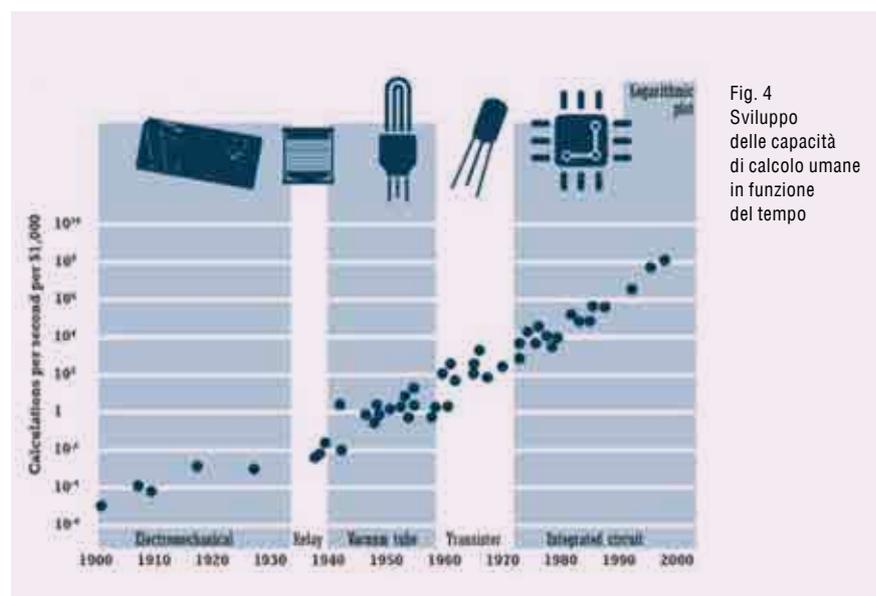


Fig. 4 Sviluppo delle capacità di calcolo umane in funzione del tempo

numerosa e fruisce globalmente di generosi finanziamenti. Da parte di altri si paventa lo sviluppo della tecnologia perché considerata responsabile dell’eccessivo consumo delle risorse naturali e del degrado ambientale sino a preconizzare l’avvento di autentiche catastrofi. Tanto da invocare una improbabile decrescita.

e quindi nella minor produzione della CO₂. Il rendimento teorico di un motore endotermico, valutato sulla base delle temperature in gioco, sfiora l’80%, mentre il rendimento reale è dell’ordine del 30%. In altri termini gran parte del combustibile che alimenta un motore a combustione interna contribuisce



alla produzione di calore che viene disperso. Esiste quindi un ampio margine operativo per migliorare la situazione, fruendo dell'incremento delle capacità di calcolo. Risulterà infatti possibile affrontare lo spinoso problema della valutazione della velocità di creazione di entropia che penalizza nei processi di combustione la resa dei motori, individuando così le condizioni per migliorarne progettazione e gestione. Una analisi ha evidenziato che l'obiettivo può essere raggiunto attraverso un grande investimento nella ricerca e quindi un aumento nel costo dei veicoli prodotti, creando quindi qualche resistenza da parte delle società produttrici di automobili. Si deve comunque tenere presente che questo approccio è quello che contempla i minori cambiamenti strutturali nel campo del trasporto ed è quindi più facilmente perseguibile a livello generale.

Poiché l'entropia è collegata con il livello di informazione di un sistema questo approccio risulta applicabile anche agli aspetti organizzativi ed economici. In particolare la sottostante struttura dei sistemi sociali può essere descritta mediante complessi *networks* di unità interagenti che ne contraddistinguono le caratteristiche topologiche, strutturali e dinamiche, evidenziando come la loro complessità sia comune alle attività intese alla gestione delle tecnologie che consentono di fronteggiare i problemi produttivi con razionalità.

I progressi in corso nell'ingegneria genetica sono ancora più rapidi e stupefacenti, come viene illustrato nella Fig. 5, e aprono interessanti prospettive in diversi settori. Ov-

viamente al primo posto si trova quello della salute, ma le potenzialità sono enormi anche nel riguardo di diversi aspetti della chimica e dei materiali, includendo la produzione di biocarburanti, con bilancio nullo di CO₂, in modo tale da non compromettere la produzione di cibo.

Ci si chiede allora se fruendo di questi risultati si possa raggiungere nell'economia quello stato stazionario, vagheggiato da Stuart Mill e riformulato successivamente da Daly. Riferendoci allo schema della Fig. 6 si osserva che per raggiungere tale obiettivo è necessario fare in modo che nel ciclo economico il flusso di exergia assorbito uguagli quello che viene impiegato dal sistema produttivo, tenendo ovviamente conto del fatale degrado energetico dovuto alla irreversibilità dei processi coinvolti.

Per conseguire l'obiettivo si devono elaborare tecnologie in virtù delle quali si riesca ad avvicinare il consumo dei combustibili fossili mediante processi che coinvolgono l'ingegneria genetica nella sintesi di nuovi combustibili. Questa affascinante prospettiva viene coltivata dalla biologia sintetica, impiegando quali catalizzatori batteri ingegnerizzati i cui circuiti metabolici vengono geneticamente modificati in modo da orientare la loro attività verso la produzione di biocarburanti [14]. Il programma è molto ambizioso e coinvolge diversi ricercatori. I lavori in corso ed i risultati sino ad ora ottenuti sono molto promettenti. Anche se si tratta di prospettive che non riguardano il futuro immediato giocheranno sicuramente un ruolo importante nelle prossime svolte tecnologiche.

Per concludere

Paul Krugman in un recente articolo sul *New York Times*, dal titolo: "Salvare il pianeta non costa niente" sostiene che gli scienziati non capiscono cosa significa crescita economica. Probabilmente ha ragione, anche perché se si giudica da come va il mondo sembra che non lo capiscano nemmeno gli economisti. Comunque non si può che essere d'accordo con la sua filosofia del "mai dire mai", purché si tenga opportunamente conto, come dicono gli scienziati, delle condizioni al contorno nel cui ambito possiamo operare.

Vaclav Smil, sostiene che la rinascita delle energie rinnovabili ha portato ad esagerate attese invece di valutazioni realistiche, perché la scala della transizione dai combustibili fossili è immensa. Tutto qui, si potrebbe dire. Se non si vuole appartenere alla schiera di coloro che invocano miracoli si deve cercare di definire quali siano i confini dell'immensità (se esistono) per operare nel modo più opportuno. Per renderci così conto che per non dover imporre modifiche sociali e politiche difficilmente praticabili si deve associare alle attività politiche un profondo impegno in settori di ricerca innovativi, accettando il rischio economico e tecnologico imposto dalla loro applicazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R.A. Kerr, *Science*, 2010, **329**, 780.
- [2] Mc Kenzie Funk, *Windfall*, Penguin, 2014.
- [3] P.E. Waggoner, J.H. Ausubel, *PNAS*, 2012, **99**, 7860.
- [4] P. Victor, *Managing Without Growth*, Edmond Edgar Publishing, 2008.

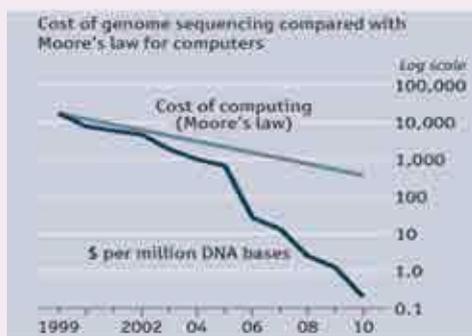


Fig. 5
La significativa diminuzione dei costi richiesti per la produzione del DNA mette in evidenza che la velocità del progresso nella biologia molecolare è nettamente superiore a quella in corso nel calcolo



Fig. 6
Ciclo economico stazionario

- [5] R. Adler, Happy Planet, *New Scientist*, 5 July 2014, 31.
- [6] A. Reine J. Foster, J. Potts, *Economical Complexity*, 2006, **3**, 354.
- [7] H. Daly, *Beyond Growth*, Beacon-Press, 1996.
- [8] A.P. Simpson, C.F. Edwards, *Energy*, 2011, **36**, 14442.
- [9] S. Carrà, *Chimica e Industria*, 2015, **97**(2), 50.
- [10] D. Helm, *Nature*, 2012, Nov. 29, **491**(7426), 663, doi: 10.1038/491663a.
- [11] V. Smil, *American Scientist*, 2011, **99**, 212.
- [12] A. Schafer, H.D. Jacoby, J.B. Heywood, I.A. Waitz, *American Scientist*, 2009, **97**, 476.
- [13] J. Rifkin, *Economia all'idrogeno*, Mondadori, 2013.
- [14] G. Stephanopoulos, *Metabolic Engineering*, Academic Press, 1998.

Desperately Looking for a Miracle: is it Possible to Save the Planet from an Announced Catastrophe?

Economic studies evidence the possibility to organize human activities so as to provide a reasonable general welfare, while ensuring environmental protection. All this taking advantage of the currently available technologies provided that radical structural changes concerning the human activities are imposed. Such an approach primarily involves the political, financial and economic systems. Actually for not imposing socio political changes hardly feasible, a deep commitment in the areas of innovative research is required by accepting the risk imposed by their economic and technological application.



Scoprite le nostre nuove soluzioni di protezione per il personale da laboratorio
+ Semplici + Sicure



Captair Smart
Cappe chimiche a filtrazione senza ricambio



Captair Smart
Armadi ventilati a filtrazione senza ricambio



Halo
Sistema di filtrazione dell'aria



Halo Sense
Purificatore d'inquinamento per laboratorio



Sfruttate la miglior qualità di filtrazione



Una potente interfaccia di comunicazione tramite luce



Collegate i vostri apparecchi e seguite il loro funzionamento tramite cellulare, tablet o PC

