

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE



Nicola Armaroli

Istituto ISOF-CNR, Bologna

Vincenzo Balzani

Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician"

Università di Bologna

nicola.armaroli@isof.cnr.it

vincenzo.balzani@unibo.it

## ENERGIA: È TEMPO DI SCELTE STRATEGICHE

*La necessità di limitare l'uso dei combustibili fossili ci pone di fronte ad una grande sfida. Lo sviluppo dell'energia solare e delle altre energie rinnovabili è una scelta strategica non solo per salvare il pianeta, ma anche per creare un nuovo modello di sviluppo economico e una politica di pace.*

Italo Calvino ha scritto che per vedere bene una cosa o un problema bisogna guardarli da lontano. È il caso della nostra Terra e del suo più grave problema, quello dell'energia. Solo guardandola da lontano ci si rende conto che la Terra è come una gigantesca astronave che viaggia senza meta nell'immensità dell'universo. Pur viaggiando alla velocità di 29 km al secondo, non consuma sue risorse energetiche per spostarsi, ma ha bisogno di tanta energia per i numerosi passeggeri che trasporta: già oggi sono più di 6,7 miliardi, che diventeranno 9-10 miliardi attorno al 2050. Ogni giorno i passeggeri dell'astronave aumentano di oltre 200.000 unità, ogni anno di circa 75 milioni: una Padova in più ogni mattino, quasi una Germania in più allo scoccare di ogni nuovo anno. Le nuove nascite avvengono nella stragrande maggioranza in quegli scompartimenti di terza classe che chiamiamo *Paesi in via di sviluppo*: ogni minuto nascono 32 Indiani e 24 Cinesi. In questi scompartimenti di terza classe c'è ovviamente bisogno di una crescente quantità di energia non solo per far fronte alle necessità dei nuovi nati, ma ancor più per elevare il basso livello di benessere dei passeggeri che vi si trovano. Nel frattempo, negli scompartimenti di prima classe che si sono costruiti negli ultimi cento anni utilizzando con crescente avidità i combustibili fossili, la

richiesta di energia continua sempre ad aumentare perché si è venuta a creare una spirale perversa: disponibilità di energia - sviluppo tecnologico - ricchezza - consumo di energia. Tutto ciò ha creato grandi disuguaglianze fra le varie nazioni, difficilmente colmabili. Basti pensare che gli Stati Uniti, con 303 milioni di abitanti, hanno 780 automobili ogni 1.000 persone, mentre la Cina e l'India, con una popolazione complessiva di 2 miliardi e 400 milioni di persone, hanno meno di 20 automobili per 1.000 abitanti. La domanda "Chi fornirà il carburante alla Cina e all'India?", che già da anni aleggiava negli ambienti economici e politici, è ormai un incubo: se Cina e India avessero 780 automobili per mille abitanti e le usassero come noi, cittadini dei Paesi sviluppati consumerebbero circa 22 milioni di barili di petrolio al giorno, ovvero un quarto dell'intera produzione mondiale.

### Energia ovunque

L'energia è la risorsa più importante per soddisfare i bisogni primari dell'umanità e per permettere a ciascuno di raggiungere e mantenere buon livello di benessere materiale (Fig. 1). Conosciamo bene l'importanza dell'energia perché ne facciamo abbondante uso tutti i giorni: per viaggiare, cuocere o conservare i cibi, illuminare e far funzionare il

numero sempre crescente di apparecchiature che riempiono le nostre case di cittadini di un Paese sviluppato. Forse, però, neppure noi ci rendiamo conto pienamente dell'importanza dell'energia. L'energia è più importante del cibo perché, oggi giorno, il cibo si può produrre in grandi quantità ma a prezzo di un'alta spesa energetica: ad esempio per mettere sul mercato 1 kg di carne è necessaria una spesa energetica equivalente a 7 litri di petrolio. L'energia è più importante dell'acqua potabile, perché quando questa scarseggia se ne può produrre a volontà dissalando l'acqua di mare, ma al prezzo energetico di 3 litri di petrolio per ogni metro cubo d'acqua. L'energia è la linfa vitale dell'industria, perché per fare qualsiasi "cosa" ci vuole energia e quindi in ogni oggetto c'è, nascosta, una grande quantità di energia. Ad esempio: per produrre una tonnellata (t) di fogli di carta è necessaria una quantità di energia pari a 0,8 tep (tonnellate equivalenti di petrolio); per le materie plastiche 1,5-3,0 tep/t; per l'alluminio, circa 5 tep/t; per il titanio, molto usato nell'industria aerospaziale, circa 20 tep/t. Per fabbricare un'automobile si utilizzano mediamente 3 tep/t, per cui si può stimare che, prima ancora di iniziare a circolare, un'auto ha già consumato circa il 25% dell'energia totale che consumerà prima di essere rottamata: prima cioè che il residuo di energia in essa contenuta sia distrutto usando altra energia. Nell'attuale fase storica l'energia è fornita in gran parte dai combustibili fossili: petrolio, gas naturale e carbone. Un tesoro custodito per milioni di anni nella stiva dell'astronave Terra, che abbiamo iniziato a "bruciare" intensivamente solo negli ultimi 100 anni e che negli ultimi decenni è diventato anche la materia prima dell'industria chimica.

I combustibili fossili costituiscono una risorsa energetica molto potente e molto facile da usare, ma non rinnovabile. Li abbiamo usati e in parte li stiamo ancora usando senza parsimonia, ma ci stiamo rendendo conto che essi sono un regalo irripetibile e quantitativamente limitato che la natura ci ha fatto. Oggi al mondo si consumano ogni giorno 85 milioni di barili di petrolio, 6,8 miliardi di metri cubi di gas e 14 milioni di tonnellate di carbone: quanto potrà durare? Sappiamo anche che l'uso massiccio e prolungato dei combustibili fossili reca gravi danni all'uomo e all'ambiente: fino a quando potremo permetterci di causare tali danni?

## I combustibili fossili

Per mettere a fuoco il problema dell'esaurimento dei combustibili fossili non ha interesse capire quanto si arriverà all'ultimo barile di petrolio, all'ultimo metro cubo di gas o all'ultima tonnellata di carbone. È più istruttivo cercare di capire quando la produzione di queste risorse raggiungerà un

picco, per poi inesorabilmente diminuire. Come sempre succede quando una risorsa fondamentale comincia a scarseggiare, si avranno aumenti incontrollati di prezzo, crisi economiche e politiche, nonché una corsa ad accaparrarsi con ogni mezzo le riserve disponibili. È difficile stabilire quando si raggiungerà il picco di produzione del petrolio. Ci sono certamente giacimenti che debbono ancora essere scoperti, ma da almeno trent'anni non si sono più trovati grandissimi giacimenti di buona qualità ed è certo che i pozzi "supergiganti" di Cantarell (60% della produzione messicana), Prudhoe Bay (Alaska, maggiore giacimento del Nord America), Statfjord (Norvegia, maggiore giacimento nel Mare del Nord) sono in declino inarrestabile. Gli ottimisti ritengono che il picco di produzione si raggiungerà tra una trentina d'anni, mentre i pessimisti ritengono che sia già stato raggiunto tra il 2005 e il 2007. C'è per la verità anche chi dice che il petrolio è ancora molto abbondante: basta scavare pozzi a profondità sempre maggiore, spremere le sabbie bituminose, oppure ottenerlo dal carbone. Non dice però se sarà conveniente farlo da un punto di vista economico ed energetico, nonché se sarà sostenibile da un punto di vista ambientale. Se si considerano l'inarrestabile aumento dei prezzi, le due guerre del Golfo, le tensioni politiche tra Stati Uniti ed Iran e l'instabilità politica delle zone del Medio Oriente, sembra difficile dar torto ai pessimisti. E se anche avessero ragione gli ottimisti, il problema riguarderà pur sempre i nostri figli e i nostri nipoti.

Le stime attuali delle riserve suggeriscono che il picco di produzione per il gas dovrebbe avvenire poco dopo quello del petrolio, ma anche su questo punto regna molta incertezza. Il gas naturale aiuterà a far fronte ai problemi causati dal picco del petrolio, ma è escluso che possa rimpiazzare l'"oro nero" o che possa durare per tempi molto lunghi. In ogni caso, più passano gli anni e più si porrà il problema se continuare a bruciare petrolio e gas per ottenere energia, oppure conservarli come materie prime per l'industria chimica. In vista di una diminuzione della disponibilità di petrolio e gas, l'attenzione generale



Fig. 1 - Mappa dei consumi di energia. La superficie di ogni nazione è proporzionale alla propria quota dei consumi energetici globali. Copyright 2006 SASI Group (University of Sheffield) and Mark Newman (University of Michigan); [www.worldmapper.org](http://www.worldmapper.org)

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE

Tab. 1 - La produzione e il consumo di petrolio in migliaia di barili al giorno, i primi dieci Paesi più l'Italia (1 barile = 159 litri) (fonte: BP Statistical Review of World Energy, 2008)

Produzione		Consumo	
Arabia Saudita	10.413	Stati Uniti	20.698
Russia	9.978	Cina	7.855
Stati Uniti	6.879	Giappone	5.051
Iran	4.401	India	2.748
Cina	3.743	Russia	2.699
Messico	3.477	Germania	2.393
Canada	3.309	Corea del Sud	2.371
Emirati Arabi Uniti	2.915	Canada	2.303
Venezuela	2.613	Brasile	2.192
Norvegia	2.556	Arabia Saudita	2.154
Italia	1,2	Italia	1.745

La produzione globale è di circa 85 milioni di barili al giorno e non sembra poter crescere sensibilmente in tempi brevi: questa è la causa principale degli aumenti del prezzo a partire dal 2005; per alcuni è un chiaro sintomo di raggiungimento del picco di produzione petrolifera mondiale.

Tab. 2 - Le riserve di petrolio in miliardi di barili, i primi dieci Paesi più l'Italia (fonte: BP Statistical Review of World Energy, 2008)

Arabia Saudita	264,3	21,3%
Iran	138,4	11,2%
Iraq	115,0	9,3%
Kuwait	101,5	8,2%
Emirati Arabi Uniti	97,8	7,9%
Venezuela	87,0	7,0%
Russia	79,4	6,4%
Libia	41,5	3,3%
Kazakistan	38,9	3,2%
Niger	36,2	2,9%
Italia	0,8	0,1%

I primi cinque Paesi, tutti dell'area del Golfo Persico, detengono il 60% delle riserve mondiali. Le statistiche più recenti cominciano a introdurre i dati delle riserve canadesi di petrolio «non convenzionale» potenzialmente ottenibili dalle sabbie bituminose dell'Alberta. Le stime più recenti parlano di 152,2 miliardi di barili, il che farebbe del Canada il secondo detentore mondiale di riserve petrolifere.

Gli scisti bituminosi non compaiono ancora nelle statistiche, perché sono ancora più difficili da «spremere» dal sottosuolo. In questo caso le riserve sarebbero ancora più elevate, circa 2.800 miliardi di barili a livello mondiale (oltre 2.000 miliardi nei soli Stati Uniti). Va sottolineato che la possibilità di ottenere grandi quantità di petrolio in modo conveniente da queste fonti non convenzionali rimane tutta da dimostrare.

sta tornando sul carbone, le cui riserve fino a pochi anni fa erano stimate sufficienti per qualche centinaio di anni. In realtà il carbone recuperabile con un ritorno economico ed energetico conveniente non è così abbondante. Secondo stime attendibili, il picco di produzione del carbone si avrà tra il 2020 e 2030. Altre stime parlano del 2050. In ogni caso, anche quando raggiungerà il suo massimo, la produzione di carbone fornirà una quantità di energia inferiore a quella che otte-

niamo oggi dal petrolio. Bisogna anche notare che il carbone è il combustibile fossile più inquinante ed è quello che genera una maggior quantità di CO<sub>2</sub> per unità di energia prodotta. I giacimenti di combustibili fossili non sono distribuiti in modo omogeneo nelle varie regioni della Terra e lo stesso vale per i consumi (Tab. 1). I dati precisi sulle riserve sono sempre difficili da conoscere non solo per ragioni tecniche, ma anche perché le multinazionali dell'energia e gli Stati spesso non hanno interesse a fornire cifre veritiere (Tab. 2). In ogni caso le maggiori riserve di petrolio (ca. 60%) sono possedute dai Paesi del Medio Oriente. Quanto al gas, il Paese con le maggiori riserve è la Russia, che da sola ne possiede più di un quarto del totale e, con Iran e Qatar, quasi il 60%. Le riserve di carbone sono invece distribuite fra un numero maggiore di Paesi. Chi non ha combustibili fossili, o non ne ha a sufficienza, deve comprarli da chi li produce. Gioca quindi un ruolo importante la ricchezza di un Paese e anche la sua posizione geografica, non solo poiché trasportare energia costa energia, ma ancor più perché le rotte lungo cui essa viaggia possono essere interrotte da decisioni politiche o da azioni militari. Nel panorama internazionale è preoccupante notare che le nazioni più popolate, Cina e India, producono molta meno energia di quanta ne consumano. Gli Stati Uniti, pur essendo il terzo Paese produttore di petrolio e il secondo di gas naturale e carbone, a causa degli enormi consumi interni sono costretti ad importare il 65% del petrolio e il 16% del gas naturale. Per contro la Russia è in grado di esportare enormi quantità di petrolio, gas naturale e carbone. L'Iran, una nazione (forse non a caso) al centro di complicate vicende di politica internazionale negli ultimi trent'anni, è il quarto produttore di petrolio e il quinto di gas naturale. Bastano questi pochi dati per far capire alcuni aspetti della politica internazionale. È francamente difficile pensare che le guerre in Iraq, Afghanistan, Cecenia, Serbia, Georgia non siano collegate ad un controllo «ravvicinato» dei pozzi di petrolio e gas ed alle relative vie di terra o di mare che ne permettono lo smistamento. Il nostro Paese non ha riserve significative di combustibili fossili, ma il 90% del nostro fabbisogno energetico deriva proprio da queste fonti: importiamo perciò il 94% del petrolio e l'89% del gas che consumiamo.

## Eredità fossile

È noto, anche se molti sembrano spesso dimenticarlo, che ogni volta che si usa una risorsa si producono inevitabilmente rifiuti. E i rifiuti non sono mai «innocenti»: in un modo o nell'altro, e a volte in più modi, sono dannosi. Negli ultimi decenni ci siamo resi conto, con sempre maggior preoccupazione, che l'uso dei combustibili fossili produce sostanze gassose nocive per la salute dell'uomo e dannose per l'ambiente e la stabilità del clima. I danni che l'uso dei combustibili fossili causa alla salute dell'uomo o all'ambiente vengono chiamati esternalità. Il loro costo non ricade sul produttore o sul consumatore, ma sulla

collettività. Recentemente alcune agenzie nazionali e internazionali hanno iniziato a valutare l'entità di questi danni in termini economici, anche se il problema è estremamente complesso e non c'è un consenso generale in merito ai parametri su cui basare le valutazioni. In ogni caso, bisogna considerare che il costo reale dell'energia ottenuta dai combustibili fossili è molto più alto di quello che viene fatto pagare al consumatore.

## L'effetto serra

Anche se i problemi dell'inquinamento derivanti dall'uso dei combustibili fossili si vanno aggravando, specie nelle zone di produzione e nelle aree densamente popolate, le preoccupazioni degli scienziati oggi si concentrano maggiormente sui problemi del riscaldamento climatico del pianeta. Questo fenomeno è in gran parte attribuito all'alterazione del ciclo del carbonio, indotta dal rilascio in atmosfera di enormi quantità di CO<sub>2</sub> (29 miliardi t/anno), che è il prodotto principale della combustione di carburanti fossili. In altre parole, in un arco di tempo troppo breve (alcuni decenni), stiamo riversando in atmosfera miliardi di tonnellate di carbonio che erano rimaste confinate nel sottosuolo per milioni di anni. I meccanismi naturali del ciclo del carbonio non sono in grado di digerire questo *surplus* dovuto alle attività umane, che si accumula in atmosfera e altera il bilancio della radiazione termica del pianeta. Dall'inizio della rivoluzione industriale ad oggi la concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera è aumentata da 275 a 384 parti per milione (ppm) e si prevede che, se non saranno presi provvedimenti opportuni, potrà superare 550 ppm alla fine di questo secolo con conseguenze che potrebbero essere disastrose: un aumento medio della temperatura terrestre di circa 3,0 °C, accompagnato da un aumento del livello dei mari e da una maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi quali ondate di calore e precipitazioni intense. Negli Stati Uniti operano attualmente 1.500 centrali elettriche a carbone ed in Cina se ne inaugura una alla settimana.

Partendo da questi dati e dalla considerazione che il carbone è il combustibile fossile più abbondante, c'è chi pensa che si possa continuare ad usare carbone in impianti che non emettano anidride carbonica. Un modo per risolvere questo problema sarebbe quello di "sequestrare" l'anidride carbonica prodotta dalla combustione del carbone prima che venga immessa in atmosfera, confinandola in depositi sotterranei come i pozzi petroliferi esauriti. Oltre ad offrire un rimedio soltanto parziale, l'uso di questa tecnologia porterebbe però ad un forte aumento dei costi dell'elettricità e potrebbe anche causare incidenti (rilascio lento od improvviso del gas in atmosfera).

## La crisi energetica

La crisi energetica è indiscutibile, anche se a livello politico non è stata ancora percepita in tutta la sua gravità. Essa è basata su tre fattori: l'esaurimento progressivo dei combustibili fossili, i danni causati dal loro uso al clima, alla salute e all'ambiente, la forte disuguaglianza nella disponibilità di energia fra Paesi ricchi e Paesi poveri (Fig. 1). La crisi energetica mette in discussione il modello di sviluppo basato sul consumo a tutti i costi, che la grande disponibilità di energia a prezzi irrisori ha creato nei decenni passati e di cui ha goduto solo una minoranza della popolazione della Terra. È chiaro che non sarà possibile far vivere "all'americana" tutti gli abitanti della Terra utilizzando i combustibili fossili, perché non ce n'è a sufficienza. E in un certo senso dovremmo aggiungere "per fortuna" perché, se ce ne fosse piena disponibilità, un loro uso massiccio causerebbe alterazioni climatiche e problemi sanitari di portata devastante. Per assicurare all'umanità un futuro energetico sostenibile è quindi necessario svincolarsi progressivamente dall'uso dei combustibili fossili ed ottenere energia da altre fonti. Le soluzioni possibili sono sostanzialmente due: da una parte l'energia solare e le altre energie rinnovabili, dall'altra l'energia nucleare. Partendo da questi incontrovertibili dati di fatto, è necessario compiere scelte sagge e prendere rapide decisioni nel campo della politica energetica.

## Energia nucleare

L'energia nucleare costituisce il 15% dell'energia elettrica mondiale e il 6% dell'energia primaria complessiva (Fig. 2). La costruzione di centrali elettronucleari a fissione ha conosciuto il suo periodo d'oro nel trentennio 1956-1986. Da vent'anni il numero di impianti nel mondo è sostanzialmente stabile attorno alle 440 unità; il parco centrali è quindi molto datato. Ci sono attualmente 31 impianti in costruzione, che non riusciranno a rimpiazzare gli impianti che nei prossimi anni dovranno essere dismessi per ragioni di età. Nonostante questo stal-



Fig. 2 - Mappa della produzione elettronucleare. La superficie di ogni nazione è proporzionale alla propria quota di produzione mondiale da questa tecnologia. È evidente che la fissione nucleare è proponibile solo per le nazioni ricche da un punto di vista economico e/o tecnologico. Copyright 2006 SASI Group (University of Sheffield) and Mark Newman (University of Michigan); [www.worldmapper.org](http://www.worldmapper.org)

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE

lo nel numero degli impianti, la produzione elettronucleare è cresciuta nel tempo. Questo è dovuto ad una gestione più efficiente degli impianti esistenti: nel 1973 le centrali nucleari funzionavano per il 50% del tempo, mentre oggi funzionano, pur notevolmente invecchiate, per oltre l'80%. Certamente i due maggiori incidenti (Chernobyl, Three Mile Island) hanno minato l'accettabilità sociale della tecnologia, ma la crisi del settore ha ragioni principalmente economiche. La liberalizzazione dei mercati elettrici è stata un deterrente formidabile per gli investimenti, dimostrando in modo disarmante che il nucleare non sopravvive in regime di libero mercato. Se le generose casse statali non garantiscono la copertura degli enormi costi dell'intero ciclo industriale, in particolare quelli a monte e a valle (costruzione, dismissione), nessuna impresa privata è disposta ad investire in progetti che possono andare incontro a rischi di varia natura. Oggi la produzione di uranio è largamente al di sotto della domanda, poiché anche gli investimenti in attività estrattive sono stati bassissimi; il prezzo dell'uranio è quindi salito di oltre 7 volte dal 2002 al 2007, molto più del petrolio. Tra i primi 15 detentori di riserve di uranio non vi è un solo Paese dell'Unione Europea (Fig. 3), rendendo del tutto infondate le speranze di chi vede il nucleare come una strada verso l'autosufficienza energetica europea (o addirittura italiana). A questo proposito, tra l'altro, giova ricordare che la distribuzione energetica nei consumi finali europei è la seguente: 23% elettricità, 77% combustibili. Le centrali termoelettriche producono solo elettricità quindi, anche se producessimo tutta l'elettricità in questo modo, avremmo coperto appena un quarto dei nostri consumi energetici. Le centrali elettriche, di qualunque tecnologia, non producono combustibili, ma semmai li consumano. Si possono individuare vari scenari affinché il nucleare possa giocare un ruolo davvero rilevante nel sistema energetico mondiale da qui al 2050. Uno di minima è il seguente: sostituzione di tutti gli attuali 435 impianti, sostituzione del 50% delle attuali centrali a carbone, copertura del 50% della nuova domanda di elettricità. Questo implicherebbe la costruzione di circa 2.500 centrali da 1.000 MW ciascuna, ovvero una la settimana da qui al 2050. Si tratta di uno scenario del tutto irrealistico: non si saprebbe dove reperire l'uranio e non esistono depositi adeguati per la messa in sicurezza delle scorie ad alta attività. Il più grande deposito progettato sinora (Yucca Mountain, USA) è tuttora soggetto ad un estenuante iter autorizzativo partito nel 1982, di cui ancora non si intravede la fine. In effetti il problema della collocazione sicura delle scorie ad alta attività è tutt'altro che risolto.

Le speranze di una rinascita

nucleare sono tutte riposte nei numerosi progetti di ricerca sulla fissione di Quarta Generazione e sulla fusione. Le prospettive della loro fattibilità su scala industriale, tutt'altro che certa, sono unanimemente poste tra non meno di 25 anni (50 per la fusione). Non vanno poi dimenticati gli intricati dilemmi di una tecnologia che ha risvolti etici molto profondi legati alla sua intrinseca complessità e alla cosiddetta proliferazione nucleare connessa al legame ambiguo, ma oggettivamente indissolubile, con le tecnologie militari (il caso Iran è emblematico). I risvolti economici, tecnici e militari rendono particolarmente inadatta l'energia nucleare per i Paesi poveri di risorse finanziarie, scientifiche e culturali: proprio quei Paesi che hanno il diritto di aumentare la loro disponibilità energetica nei prossimi, cruciali, 2-3 decenni.

## Energia solare e altre fonti rinnovabili

Il sole invia sulla Terra una colossale quantità di energia sotto forma di radiazione luminosa. La potenza istantanea che colpisce l'atmosfera terrestre ammonta a 170 milioni di miliardi di watt (170 PW). In pratica, in meno di un'ora il sole invia sulla Terra una quantità di energia pari all'intero consumo complessivo mondiale annuale. Questo flusso di energia solare è molto diluito ed intermittente su scala locale: non sarà mai possibile alimentare un'infrastruttura ad altissimo consumo energetico locale, come un ospedale, mediante l'energia solare che ne colpisce i tetti. Quindi la principale sfida scientifica e tecnologica è quella di immagazzinare il gigantesco e diluito flusso di energia solare per poi utilizzarlo con "l'intensità" necessaria, laddove richiesto.

A partire dalla radiazione solare è possibile ottenere tutte le forme utili di energia: calore, elettricità e combustibili. Oltre il 50% dei consumi energetici domestici in Europa riguarda la banale produzione di calore a bassa temperatura per scaldare gli ambienti, per lavarsi, per cucinare. La produzione di parte di questo calore per via solare sarebbe un importante passo avanti nella transizione energetica. La scarsissima diffusione dei pannelli solari termici in Italia, se confrontata alla situazione di altri Paesi, è probabilmente il segno

più evidente della nostra sconcertante incapacità di trasformare in modo sostenibile il nostro decrepito sistema energetico. La ricerca scientifica nel settore solare è vastissima ed in grande espansione nei Paesi più avanzati. Si va dalla ricerca di nuove tecnologie fotovoltaiche (film sottili, materiali plastici, sistemi fotoelettrochimici), al miglioramento dell'efficienza dei sistemi

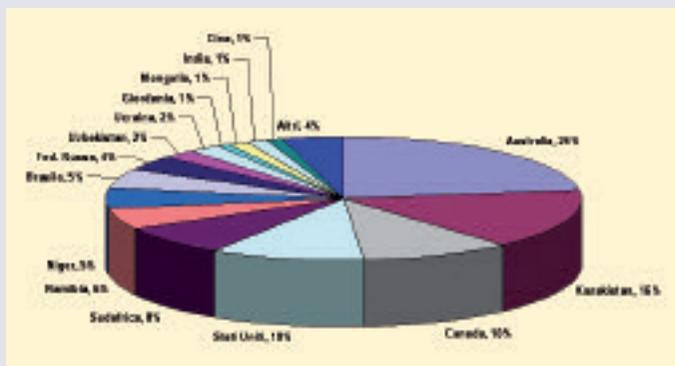


Fig. 3 - Distribuzione per nazioni delle riserve accertate di uranio (fonte: 2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council, 2007)

al silicio che hanno raggiunto ormai rese del 20%, avvicinandosi progressivamente al limite termodinamico del 31%. Il miglioramento delle numerose tecnologie consolidate per la produzione di biocombustibili procede di pari passo con i progressi lenti ma costanti verso i biocombustibili di seconda generazione che impiegheranno prodotti di scarto dell'agricoltura tradizionale o coltivazioni no-food, limitando la competizione per l'uso del suolo a scopi agricoli alimentari. È da escludere però che l'agricoltura o la coltivazione di alghe e microrganismi negli oceani possano produrre la quota attuale di combustibili fossili. Esiste infatti un problema di limiti delle risorse per quel che riguarda sia la disponibilità di acqua dolce a scopi irrigui, che la conservazione di una



risorsa preziosissima ma di solito negletta: i 50 cm di "pelle" che costituiscono il tessuto vivo e delicato del pianeta Terra, il suolo. In questi anni è ripresa con vigore la ricerca sulla fotosintesi artificiale, che si propone di trasformare direttamente  $H_2O$  e  $CO_2$  in combustibili, senza passare attraverso i carboidrati, come avviene nella fotosintesi naturale. Il successo di queste ricerche costituirebbe un punto di sintesi tra l'approccio chimico e quello biologico ai combustibili solari, aprendo grandi prospettive verso la transizione energetica. L'energia eolica è una realtà consolidata e in molti Paesi è la tecnologia elettrica in maggiore espansione. La Germania, terza economia mondiale, produce quasi il 10% della sua elettricità mediante la forza del vento. L'obiettivo globale dell'Unione Europea è arrivare almeno al 13% al 2020. Altre risorse energetiche rinnovabili meno 'convenzionali' sono quelle associate all'energia cinetica dell'acqua marina in movimento, fenomeno spesso poco appariscente ma continuo. Il movimento dell'acqua può essere associato alla generazione di perturbazioni superficiali per effetto dei venti (onde), all'azione di forze gravitazionali (maree), e a differenze di temperatura o densità tra gli strati superficiali e quelli profondi degli oceani (correnti marine). La potenza stimata del moto ondoso dei mari è immensa, circa 90 TW (si ricorda che la domanda di potenza mondiale complessiva si attesta oggi attorno a 13 TW). Lo sviluppo di nuove tecnologie per lo sfruttamento delle onde marine rende alcune zone particolarmente interessanti, come le coste britanniche. Anche le correnti e le maree hanno eccellenti possibilità di dare un loro contributo, sia pure limitato, alla transizio-

ne energetica. Un'altra grande risorsa virtualmente inesauribile è il calore delle viscere della terra che, fino ad oggi, è stato sfruttato solo a profondità relativamente modeste (non oltre 2 km). Oggi si stanno sviluppando tecnologie che possono sondare profondità maggiori (sino a 10 km) che permetterebbero di sfruttare questa risorsa praticamente ovunque. Un recente studio del MIT ha calcolato che le riserve geotermiche degli Stati Uniti entro 10 km di profondità valgono 130.000 volte l'attuale consumo energetico annuale di energia primaria di tutto il Paese. Tenuto però conto dei vincoli economici, tecnici e ambientali, lo studio prevede che nel 2050 la geotermia fornirà 'solo' il 10% dell'elettricità negli Usa.

### Un futuro possibile

La questione energetica mette l'umanità di fronte ad un bivio. Da una parte c'è la difesa ad oltranza dello stile di vita ad altissima intensità energetica dei Paesi ricchi. Uno stile di vita insostenibile nel lungo periodo, che non si fa carico dei danni dell'ambiente, non si cura di ridurre le disuguaglianze, non esclude azioni di forza o addirittura di guerra per conquistare le riserve fossili residue, si espone ai rischi della proliferazione nucleare e lascia in eredità alle generazioni future scorie radioattive per migliaia di anni. Scegliere questa strategia vuol dire destabilizzare la società umana. Dall'altra c'è uno sviluppo che vuole rispettare i vincoli fisici del nostro pianeta e che quindi impone uno stile di vita fondato su più bassi consumi energetici, sobrietà, sufficienza, solidarietà. Siamo portati a pensare che la qualità della vita aumenti sempre all'aumentare del consumo di energia, ma questo è vero soltanto per i Paesi più poveri, dove il consumo energetico pro capite è molto basso. Quando infatti questo parametro raggiunge il valore di circa 2.600 kg equivalenti di petrolio l'anno a persona (110 GJ, meno della metà dell'attuale consumo medio nel mondo occidentale) un ulteriore aumento nei consumi non porta ad alcun apprezzabile miglioramento nella qualità della vita. Numerosi altri indicatori (ad esempio, l'indice di sviluppo umano) confermano che nei Paesi sviluppati la qualità della vita non aumenta all'aumentare del consumo di energia. Analisi rigorose mostrano che questi Paesi potrebbero ridurre i loro consumi energetici del 30% senza sacrifici, anzi traendone vantaggio, poiché come il consumo di troppo cibo danneggia la salute

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE

delle persone, così il consumo di troppa energia danneggia un tranquillo svolgimento della vita sociale. Ad esempio, un'esagerata preferenza per l'automobile rispetto ai trasporti collettivi contribuisce in Europa ad un'ecatombe stradale con più di 40.000 morti e oltre 1,5 milioni di feriti all'anno.

## Efficienza e risparmio

Per una varietà di motivi, una grande quantità di energia viene usata in modo poco efficiente o addirittura sprecata. Si pensi che negli Stati Uniti soltanto il 44% dell'energia primaria si trasforma in servizio energetico utile: il 56% va perduto. Le lampade ad incandescenza convertono meno del 3% dell'elettricità in luce e sono cinquanta volte meno efficienti delle lampade a fluorescenza, che durano anche 10 volte più a lungo; ancora più efficienti e più longevi sono i led, già utilizzabili per diverse applicazioni. Molti impianti di illuminazione pubblici sono costruiti in modo da illuminare il cielo, che non ne ha affatto bisogno, anziché le strade e le piazze. Alcuni prodotti *fuori stagione* giungono sulle nostre tavole da Paesi lontani migliaia di chilometri, con grande consumo di energia. Viaggiando con un SUV si impiega una quantità di carburante quasi doppia rispetto ad un'auto normale e 10 volte più alta di quella che occorre per viaggiare in treno. Si può risparmiare energia anche scegliendo gli elettrodomestici giusti, spegnendo le luci inutili e gli apparecchi che non usiamo (il 6% dell'energia elettrica in Europa viene consumato dagli apparecchi lasciati in standby), evitando di esagerare nel riscaldamento e raffreddamento delle abitazioni e, ancor più, costruendo le case con criteri architettonici e materiali appropriati. L'educazione al risparmio e i provvedimenti per aumentare l'efficienza energetica possono diminuire la richiesta di energia senza per questo pregiudicare la qualità di vita delle persone.

## La scelta giusta

Chi ha responsabilità di governo, per scegliere gli obiettivi giusti, deve guardare lontano. De Gasperi ha scritto che un politico guarda alle prossime elezioni, uno statista guarda invece alla prossima generazione. Per agire come statisti, i politici dovrebbero allora ascoltare più spesso gli scienziati che, avendo minori condizionamenti, possono guardare più lontano. Come abbiamo visto, uno dei problemi più delicati e più difficili che tutti i Paesi, ma in particolare il nostro, hanno oggi di fronte è quello di scegliere fra lo sviluppo dell'energia nucleare e lo sviluppo dell'energia solare e delle altre energie rinnovabili. La decisione che verrà presa a questo riguardo condizionerà non solo la nostra vita, ma ancor più quella dei nostri figli e dei nostri nipoti. Ecco perché nel fare questa scelta è indispensabile che i politici guardino lontano, ascoltando il parere degli scienziati. A questo scopo, assieme a colleghi di altre università e centri di ricerca, abbiamo rivolto un appello al governo che si può consultare sul sito [www.energiaperifuturo.it](http://www.energiaperifuturo.it) e che è stato sottoscritto da centinaia di docenti e ricercatori che, in virtù della conoscenza acquisita con i loro studi o con la quotidiana consultazione della letteratura scientifica internazionale, conoscono bene il problema dell'energia. L'appello sottolinea l'urgenza che nel Paese aumenti la consapevolezza riguardo la gravità della crisi energetica e climatica, insiste sulla necessità del risparmio e di un uso più efficiente dell'energia, mette in guardia contro un inopportuno e velleitario rilancio del nucleare e, infine, esorta il governo a sviluppare l'uso delle energie rinnovabili ed in particolare dell'energia solare. L'Italia non ha combustibili fossili e neppure uranio. La sua più grande risorsa è il Sole, una fonte di energia che durerà per 4 miliardi di anni, una stazione di servizio sempre aperta che invia su tutti i luoghi della Terra un'immensa quantità di energia, 10.000 volte quella che l'umanità intera consuma. Guardare lontano, quindi, significa sviluppare l'uso dell'energia solare e delle altre energie rinnovabili, non quello dell'energia nucleare. È un guardare lontano nel tempo, perché non lascia alle prossime generazioni un pesante fardello di scorie radioattive. È un guardare lontano nel mondo, perché, a differenza dei combustibili fossili e dell'uranio, l'energia solare e le altre energie rinnovabili sono presenti in ogni luogo della Terra e, quindi, il loro sviluppo contribuirà al superamento delle disuguaglianze e al consolidamento della pace.

## Il periodo di transizione

La scelta di questa strategia che guarda lontano prevede un periodo di transizione nel quale dovrà essere progressivamente ridotto l'uso dei combustibili fossili, evitata l'espansione del nucleare e sviluppati tutti i tipi di energie rinnovabili, ciascuna valorizzata a seconda della specificità del territorio. Infatti, se oggi non possiamo sapere in dettaglio come sarà il sistema energetico del futuro, possiamo però prevedere che ogni comunità dovrà responsabilizzarsi su come soddisfare i propri fabbisogni energetici, facendo conto sulle risorse rinnovabili



disponibili in quel luogo. Un approccio diametralmente opposto a quello attuale, ove le forniture energetiche arrivano da lontano, spesso da altri continenti, in un sistema che deresponsabilizza completamente il consumatore finale illudendolo che questo sistema possa continuare all'infinito, incentivando così lo spreco. La transizione verso le energie rinnovabili sarà lunga per motivi sia tecnici sia economici: il costo dei combustibili fossili è ancora relativamente basso e l'infrastruttura energetica tradizionale (pozzi, oleodotti, gasdotti, raffinerie) è diffusa e ben collaudata. Inoltre, alcune tecnologie per sfruttare le energie rinnovabili non hanno ancora

raggiunto un'efficienza ottimale. L'abbandono graduale dell'energia densa dei combustibili fossili e il passaggio progressivo a quella diluita delle energie rinnovabili comporterà un mutamento nello stile di vita. Dovremo abituarci a consumare meno energia, particolarmente nel settore dei trasporti; però saremo più liberi, perché l'energia non sarà più posseduta da un manipolo di nazioni, ma sarà diffusa ovunque.

## Sfida ed opportunità

Ci aspetta una grande sfida, perché dobbiamo affrontare due verità scomode:

- 1) le risorse della Terra sono limitate e perciò i consumi, incominciando da quelli energetici, non possono crescere all'infinito;
- 2) le risorse, particolarmente quelle energetiche, devono essere distribuite più equamente fra tutti gli abitanti della Terra.

Ma c'è una terza verità, questa tutt'altro che scomoda, che troppo

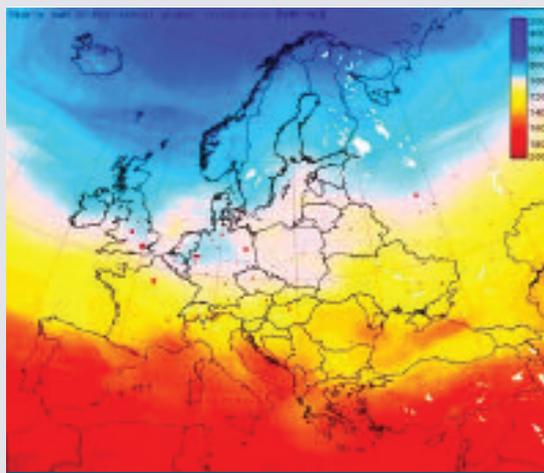


Fig. 4 - Flusso di energia solare annuale sulla superficie terrestre in Europa in kWh/m<sup>2</sup>; c'è un fattore 1,6 tra Roma e Londra (dati European Commission Joint Research Center). Le macchie rosse isolate corrispondono alle principali aree metropolitane

spesso dimentichiamo ma che può farci vincere la sfida: la Terra, nel suo vagare nell'universo, è sempre accompagnata dal Sole. L'energia che ci viene dal Sole è inesauribile e abbondante, per cui potremo usarla per riciclare tutte le risorse non rinnovabili che si vanno esaurendo. Inoltre, essa è diffusa abbastanza equamente su tutta la Terra.

Quest'ultimo è il grande valore aggiunto dell'energia solare (Fig. 4). L'uso dell'energia solare e delle altre energie rinnovabili, anch'esse distribuite in tutte le nazioni della Terra, ci offre quindi una grande opportunità: se impareremo ad usarle in modo efficiente, esse potranno

risolvere non soltanto il problema energetico e il problema ecologico, ma forse anche quello delle disuguaglianze e quindi favorire la pace. L'Italia ha più Sole dell'Austria, ma ha una superficie pro capite di pannelli solari termici 20 volte meno estesa. L'Italia ha più Sole della Germania, ma la potenza fotovoltaica pro capite installata in Germania è 30 volte maggiore. Fa specie che la maggior parte dei politici e degli industriali, e persino alcuni scienziati, non si siano ancora accorti che l'attuale crisi energetica offre al nostro Paese una grande opportunità che Paesi meno ricchi di Sole hanno già colto, sviluppando un sistema industriale avanzato e creando occupazione di qualità. Il risparmio energetico, l'uso più efficiente dell'energia e lo sviluppo dell'energia solare e delle altre fonti energetiche rinnovabili sono le azioni necessarie per affrontare il difficile futuro che ci aspetta e per lasciare in eredità ai nostri figli un Paese moderno, civile e vivibile.

## Bibliografia

Per alcuni recenti libri e rassegne sull'argomento si veda:

- [1] N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'Astronave Terra*, Zanichelli, Bologna, 2008.
- [2] V. Smil, *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*, MIT Press, Cambridge (MA), 2008.
- [3] S. Carra (a cura di), *Le Fonti di Energia*, Il Mulino, Bologna, 2008.
- [4] L. Maugeri, *Con Tutta l'Energia Possibile*, Sperling & Kupfer, Milano 2008.
- [5] BP Statistical Review of World Energy, British Petroleum, London, 2008.
- [6] V. Balzani *et al.*, *ChemSusChem*, 2008, **1**, 26.
- [7] N. Armaroli, *Sapere*, agosto 2008, **4**, 54.
- [8] O. Morton, *Eating the Sun: How Plants Power the Planet*, Fourth Estate, London, 2007.
- [9] 2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council, London, 2007.
- [10] N. Armaroli, V. Balzani, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2007, **46**, 52.

## Energy: It's Time to Make Strategic Choices

The impending need to limit the use of fossil fuels opens the way to a great challenge. The development of solar and renewable energies is a strategic choice not only to preserve the ecological equilibrium of planet Earth, but also to create a new model for economic development and more peaceful world.

# ABSTRACT