

Nicola Armaroli Vincenzo Balzani Energia per l'astronave Terra

Nuova edizione aggiornata e ampliata
con gli scenari energetici per l'Italia di domani

Chiavi di lettura a cura di
Lisa Vozza e Federico Tibone

indice

<i>Prefazione alla seconda edizione</i>	5
<i>Introduzione</i>	6
1. Che cos'è l'energia	11
2. Ieri e oggi	35
3. Quanta energia sprechiamo?	63
4. L'energia nella stiva	83
5. Danni collaterali	103
6. Energia dall'atomo	121
7. Energia dal Sole	151
8. Energia dall'aria, dall'acqua e dalla Terra	173
9. Fukushima e il futuro del nucleare*	199
10. Astronave Italia*	221
11. Scenari per un futuro possibile	243
<i>Le fonti di questo libro</i>	259
<i>Siti web</i>	262
<i>Bibliografia</i>	265
18 miti da sfatare	268
Forse non sapevi che...	274
<i>Indice analitico</i>	282

* Nuovi capitoli della seconda edizione

A Claudia e Carla

Se pensi che l'istruzione sia costosa,
prova con l'ignoranza.

Derek Bok

Prefazione alla seconda edizione

Per tre anni abbiamo divulgato le idee espresse nella prima edizione di questo libro in dibattiti su tutti i mezzi di comunicazione e presso università, scuole, associazioni e centri culturali, in conferenze invariabilmente seguite da vivaci discussioni. Abbiamo anche ricevuto tanti stimolanti messaggi da attenti lettori.

Poiché l'interesse per i problemi energetici è ulteriormente aumentato, anche in seguito all'incidente di Fukushima e al referendum sul nucleare del 2011, crediamo valga la pena proporre questa nuova edizione.

Il testo è stato aggiornato in ogni parte: dati numerici, eventi intercorsi e decisioni prese a vario livello.

Abbiamo inoltre aggiunto due nuovi capitoli (9 e 10) per esaminare lo scenario della transizione energetica, con particolare riferimento alla situazione italiana.

La consapevolezza di trovarci su un'astronave con risorse limitate, che ha come unico «soccorso» esterno l'energia solare, si va consolidando. Insistere su tecnologie superate o su abitudini consolidate a livello internazionale, nazionale e personale sarebbe disastroso per la nostra generazione e – ancora di più – per quelle future.

Il tempo delle scelte innovative e coraggiose è questo.

N. A. e V. B., luglio 2011

Introduzione

Se nelle nostre strade circolano più di 30 modelli diversi di auto di media cilindrata e qui a Cambridge non c'è una casa che sia senza piscina, nonostante il clima inglese, vuol dire che viviamo in un sistema economico impazzito.

George Steiner

Se ho una scarpa un po' rotta, che faccio? La getto via, assieme all'altra ancora buona, e vado in un grande centro commerciale a scegliere, fra le centinaia di tipi di scarpe esposte, quelle che più mi piacciono. Grazie al cielo posso esercitare la mia libertà di consumatore.

L'alternativa suggerita da una poesia di Erri De Luca – *Considero valore risparmiare acqua, riparare un paio di scarpe...* – non la prendo neppure in considerazione. Anche perché è difficile trovare un calzolaio, e per di più la riparazione potrebbe costarmi più delle scarpe nuove. In fondo poi cosa c'è di male? È il nostro modello di sviluppo: il consumismo. È la nostra civiltà: la civiltà dell'usa-e-getta.

Il filosofo Umberto Galimberti ha scritto che il consumismo è «il primo dei vizi capitali della nostra epoca». È un modello di sviluppo «che offre un finto benessere basato sulla distruzione delle risorse e lo sfruttamento delle persone».

E se invece di farmi abbagliare dal luccichio del consumismo provassi allora a guardare dietro le quinte, per capire come stanno le cose nella loro realtà globale?

Scoprirei che quelle scarpe nuove appena comprate sono fabbricate usando materiali (plastica, collanti, vernici) che sono ottenuti dai combustibili fossili, consumando energia (elettrica, termica, meccanica, luminosa), anch'essa prodotta dai combustibili fossili. Scoprirei che per fare quelle scarpe si sono prodotte molte sostanze di rifiuto, a cui si aggiungono ora le scarpe vecchie che ho buttato. Scoprirei che le belle scarpe nuove forse sono state fabbricate da operai mal pagati e poco tutelati, a volte addirittura minorenni, in Paesi dove l'inquinamento raggiunge spesso livelli insostenibili.

Nel comprare le scarpe nuove ho creduto di esercitare una libera scelta. Però, guarda caso, sono proprio quelle scarpe che secondo uno spot suadente visto alla tv «renderanno felici i tuoi passi». E naturalmente con il nuovo paio di scarpe mi sono portato a casa anche una scatola di cartone e qualche foglio di carta, ottenuti dal legno degli alberi, e un sacchetto di plastica, prodotto ancora una volta con i combustibili fossili. Dovrò sbarazzarmene, e forse non sarò abbastanza scrupoloso da farlo differenziando quei rifiuti.

Il discorso fatto per il paio di scarpe si applica anche – con problemi ancora più seri di consumo di risorse e produzione di rifiuti – ogni volta che compriamo un computer, un telefonino, un televisore o perfino

no un prosciutto. Dietro le quinte dei 500 ipermercati italiani, per esempio, si gettano nei rifiuti ogni anno 55 000 tonnellate di cibo che, seppur prossimo alla scadenza, potrebbe essere tranquillamente mangiato.

Il nostro modello di sviluppo è fondato sulla circolarità forzata produzione-consumo: si producono merci per soddisfare bisogni, ma si producono anche bisogni per garantire la continuità della produzione delle merci. Queste devono essere rapidamente consumate per essere sostituite; e poiché non possono essere troppo fragili, altrimenti nessuno le comprerebbe, è sufficiente che sia fragile una loro parte. Così il «pezzo di ricambio» non esiste, o è venduto a un prezzo talmente alto da non rendere conveniente la riparazione.

Se non si sente il bisogno di sostituire un prodotto, questo «bisogno» viene indotto dalla pubblicità che, sostanzialmente, è un appello alla distruzione delle cose che abbiamo per far posto a quelle di nuova produzione. Dove non arriva la pubblicità soccorre la moda, un'altra strategia per vincere la resistenza degli oggetti alla distruzione. La moda rende infatti socialmente inaccettabile ciò che è ancora materialmente utilizzabile.

Ogni volta che si usano risorse per produrre un manufatto (come un'automobile) o per mettere in opera un servizio (come riscaldare l'acqua di una piscina) si producono rifiuti, che spesso occupano un volume maggiore rispetto a quello delle risorse

che si sono utilizzate. A seconda del loro stato di aggregazione i rifiuti si accumulano come escrescenze sulla superficie della Terra (per poi unirsi alle acque superficiali o profonde, percorrendo spesso molta strada dai punti di scarico) oppure, nel caso siano gassosi, si diffondono nell'atmosfera. Come sappiamo ormai bene, il problema della collocazione e del destino dei rifiuti è oggi sempre più complesso.

Alla fine dei processi che generano merci e servizi l'ambiente naturale risulta impoverito del suo contenuto originale e addizionato (brutta parola, ma non possiamo certo dire «arricchito») di una certa quantità di sostanze estranee solide, liquide o gassose. Queste sostanze modificano il suolo, le acque e l'atmosfera, rendendoli sempre meno idonei a servire per le funzioni vitali; e anche a sostenere la stessa economia che, in ultima analisi, vive delle risorse naturali.

Purtroppo ogni richiamo a minori consumi, a partire da quelli energetici, contrasta con l'idea oggi dominante – sostenuta da molti economisti e fatta propria dalla maggior parte dei politici – secondo cui è necessario che il prodotto interno lordo (PIL) delle nazioni aumenti almeno del 2-3% l'anno. Dimenticano però che un aumento del PIL implica un aumento nel consumo delle risorse e nella produzione di rifiuti e che, per il secondo principio della termodinamica, come è impossibile creare il moto perpetuo è anche impossibile avere uno sviluppo infinito sulla base di risorse inesorabilmente finite. Questa è una realtà con cui economia e politica dovranno rassegnarsi a fare i conti.

A questo punto potreste dire: veramente io volevo leggere un libro sull'energia, che c'entra tutta questa solfa? Non temete, non vi abbiamo ingannato. Nelle pagine che seguono si parlerà di ciò che vi aspettate: dal legame chimico alla legge di Einstein, dal carbone al nucleare, dall'obesità alimentare all'energia solare.

Ma tenevamo a chiarire fin d'ora che l'energia è un tema davvero cruciale per capire il mondo in cui viviamo. È la grande disponibilità energetica a permetterci di condurre una vita immensamente più comoda di quella che vivevano i nostri nonni. Allo stesso tempo però il nostro stile di vita può aggravare il degrado del pianeta e compromettere seriamente la qualità della vita dei nostri nipoti.

La più grande sfida e opportunità che l'umanità ha davanti, per provare a mitigare i principali problemi che l'affliggono, è quella di mettere a punto nuove tecnologie energetiche sostenibili. Conoscere le leggi fondamentali dell'energia, disporre di alcune informazioni basilari sull'attuale sistema energetico, avere un'idea delle prospettive delle nuove tecnologie può aiutarci a diventare persone più consapevoli e responsabili.

Dopo aver letto questo libro, insomma, la prossima volta che vi si rompe una scarpa potreste essere tentati di portarla a riparare, o magari di provare a ripararla da soli.

Che cos'è l'energia

Non occorre sapere tutto prima di poter sapere qualcosa.

James D. Barrow

State leggendo un libro; chiudete gli occhi e rimanete immobili per qualche secondo.

Forse, penserete, in queste condizioni non si consuma energia. Non è vero: respirate, il cervello lavora, il cuore pulsa, il corpo ha certamente una temperatura diversa (presumibilmente più alta) rispetto al luogo in cui vi trovate. Tutto questo costa energia: quella che avete assunto con la colazione di stamattina, la cena di ieri sera o attingendo alle riserve di grasso accumulate in qualche parte del corpo.

Se più tardi farete un po' di attività sportiva, alla fine proverete una sensazione di grande benessere; lo sforzo compiuto stimola il rilascio di endorfine, neurotrasmettitori che inducono piacere. Ma il vostro contenuto energetico, dopo una bella nuotata, è inferiore a prima. Non crediate che il docciaschiuma «energizzante» vi possa ricaricare: è meglio andare a fare uno spuntino.

Se ci andate in macchina e vi fermate a fare il pieno, avrete modo di lagnarvi per gli ultimi aumenti

dei carburanti. E dopo che l'auto si è rifocillata, magari vi viene sete. Andate alla cassa, pagate il pieno e comprate una bottiglietta d'acqua fresca. Avete notato che un litro d'acqua minerale costa più di un litro di benzina? E pensare che il 65% del prezzo del carburante va all'erario (nel caso dell'acqua lo Stato trattiene solo il 4%...). Ma di solito non ci pensiamo neppure, e non ci lamentiamo.

Arrivati a casa, è l'ora del meritato spuntino: una banana e un kiwi. I talloncini adesivi vi informano che la prima viene dal Costa Rica, il secondo dalla Nuova Zelanda; per arrivare sulla vostra tavola hanno viaggiato migliaia di chilometri. Li mangiate di gusto e vi sentite meglio. Ora accendete il PC e potete finire quel lavoretto che avevate in sospeso.

Non vi potete lamentare, non è stato un brutto pomeriggio. In poco tempo avete fatto varie cose piacevoli e diverse tra loro: leggere un libro, nuotare, guidare, mangiare, lavorare stando seduti in casa.

Tutto questo è stato possibile grazie a un'enorme disponibilità di energia, di cui probabilmente non vi rendete neppure conto: l'energia delle cellule del corpo, quella del boiler della piscina, del carburante nel serbatoio dell'auto, di una nave che ha solcato gli oceani, della rete elettrica.

Se qualcuno ora vi chiedesse che cos'è l'energia, forse avreste qualche difficoltà a definire in modo chiaro e rigoroso questa entità onnipresente nella nostra vita. In effetti è un imbarazzo preoccupante: di solito ci piace conoscere quello che ci circonda e tendiamo a diffidare di ciò che non conosciamo.

Non vi angosciate troppo, però: l'ignoranza energetica è diffusissima, ma anche comprensibile. L'energia è un concetto sfuggente e soltanto apparentemente intuitivo. È così difficile che per millenni gli studiosi ne hanno dato definizioni vaghe o completamente sbagliate, come quella riportata nella settima edizione dell'*Enciclopedia Britannica* del 1842: «*the power, virtue, and efficacy of a thing*».

Se siamo arrivati a capire, passo dopo passo, che cos'è l'energia e quali sono le leggi che la governano, è grazie al lavoro appassionato e alle felici intuizioni di un piccolo gruppo di uomini curiosi che, a partire dalla fine del 1700, si applicarono con dedizione al problema: James Watt, Sadi Carnot, Justus von Liebig, James Joule, Rudolf Clausius, William Thompson (meglio noto come Lord Kelvin), Ludwig Boltzmann, Walther Nernst e Albert Einstein.

L'energia e i suoi parenti

Quello di energia non è un concetto immediato. Prima di capire che cos'è l'energia dobbiamo definire un concetto che lo precede, quello di *lavoro*.

Si definisce lavoro l'utilizzo di una forza per spostare qualcosa. La quantità di lavoro dipende da quanta forza si usa e su quale distanza spostiamo l'oggetto; dal punto di vista matematico il lavoro è il prodotto di una forza per una lunghezza.

Compriamo un lavoro quando alziamo un peso contro la forza di gravità, per esempio una cassa di mele. L'entità del nostro lavoro dipende dalla mas-

sa da spostare (quante mele ci sono nella cassa?), dall'entità della forza gravitazionale (siamo sulla Terra o sulla Luna?) e dall'altezza a cui vogliamo porre l'oggetto (sul tavolo o su uno scaffale in alto?).

Spesso la massa è quella del nostro corpo: per esempio compiamo lavoro quando saliamo una scala. Dato che la forza di gravità è identica in Valle d'Aosta e in Abruzzo e la massa da spostare è costante da anni (alla linea ci teniamo), il lavoro da compiere è maggiore se vogliamo salire sulla vetta del Monte Bianco, a 4810 metri di quota, piuttosto che su quella del Gran Sasso, a 2912 metri. Se cerchiamo di muovere qualcosa senza riuscirci (provate a sollevare un fuoristrada con le braccia) non facciamo alcun lavoro. Nel linguaggio comune «lavoro» significa anche altre cose. Sia un facchino che un notaio «lavorano»; dal punto di vista scientifico il facchino lavora molto più del notaio, anche se non lo intuiresti dal loro tenore di vita. Ma qui, appunto, la scienza non c'entra.

Come si fa a descrivere la capacità di un sistema (un litro di benzina, un essere vivente, un sasso che cade, una macchina...) di compiere lavoro? Qual è il parametro che quantifica questa capacità? Siamo arrivati: la capacità di compiere un lavoro è l'*energia*. Essa non va confusa con la *potenza*, che invece descrive la rapidità di impiego dell'energia, ovvero il rapporto matematico tra l'energia e il tempo.

Due atleti con uguale massa corporea che gareggiano nella finale olimpica dei 100 metri compiono esattamente lo stesso lavoro nella gloriosa impresa,

quello però che svilupperà anche solo un briciolo di potenza in più arriverà prima al traguardo. E forse questo basterà per fare la differenza tra l'immortale gloria olimpica e l'oblio.

Da un'energia all'altra

A questo punto possiamo spingerci un po' più in là e svincolarci dal concetto di lavoro puramente meccanico, che pure ci è stato di aiuto per iniziare a districarci con l'intuito (la cassa di mele).

Qualsiasi processo che *produce un cambiamento* (di temperatura, composizione chimica, velocità, posizione) *in un certo sistema* (un organismo vivente, un oggetto inanimato, una macchina) è un lavoro.

La capacità di compiere questo «lavoro in senso lato» si manifesta a sua volta in molti modi, quelle che noi definiamo «forme di energia», che vanno ben oltre l'energia muscolare descritta prima.

Tutte le forme di energia, nella loro diversità, hanno una caratteristica comune: sono sempre espressione di un sistema capace di esercitare una forza, che può agire contro un'altra forza. Possiamo individuare sette forme di energia, quasi tutte riscontrabili nella nostra esperienza quotidiana:

energia termica: i termosifoni che scaldano la nostra casa

energia chimica: il gas che alimenta la caldaia

energia elettrica: l'alimentazione degli elettrodomestici

energia elettromagnetica o luminosa: la luce del Sole, che fa crescere la pianta nel vaso sul balcone

energia cinetica: quella del vaso che cade verso il suolo

energia gravitazionale: se il vaso cade da 10 centimetri d'altezza forse si salva, se cade da 2 metri non c'è speranza

energia nucleare: è difficile vederla, ma ne riparleremo.

Spesso le varie forme di energia possono convertirsi una nell'altra, ma non sempre. Per esempio possiamo trasformare l'energia luminosa del Sole in energia elettrica, attraverso un pannello fotovoltaico. Invece, contrariamente a quanto spesso si pensa, non possiamo trasformare direttamente l'energia nucleare in energia elettrica. Le centrali nucleari sono infatti dei sofisticatissimi bollitori d'acqua che convertono energia nucleare in energia termica, a sua volta convertita poi in energia meccanica e infine in energia elettrica.

Se volete altri esempi di trasformazione dell'energia, pensate alla vostra giornata-tipo e sbizzarrite la fantasia; troverete qualche ispirazione nella tabella 1.

Le fonti di energia

Le *fonti* di energia sono entità fisiche da cui è possibile ricavare una o più *forme* di energia. Questi «oggetti» possono essere i più svariati:

- *risorse minerarie e vegetali:* nel caso di carbone, petrolio, gas e biomasse l'energia è di tipo chimico ed è immagazzinata nei legami chimici carbonio-carbonio e carbonio-idrogeno; per liberarla servono un innesco e un comburente (l'ossigeno); nel caso dell'uranio l'energia invece è di tipo nucleare ed è liberata dalla frammentazione del nucleo atomico;

Tabella 1. Diverse forme di energia e alcuni modi o dispositivi con cui una forma di energia si converte nell'altra

DA:	A:	termica	chimica	elettrica	elettrom. (luminosa)	cinetica	nucleare
termica			reazioni endotermiche	processi termoionici	lampadine a filamento	motori a scoppio	
chimica	combustione			batterie	luciole	muscoli	
elettrica	resistenze elettriche		elettrolisi		elettroluminescenza	motori elettrici	
elettrom. (luminosa)	collettori solari		fotosintesi clorofilliana	pannelli fotovoltaici		vele solari	
cinetica	attrito		reazioni radiolitiche	alternatori elettrici	cariche accelerate		
nucleare	fissione e fusione		ionizzazione	batterie nucleari	ordigni nucleari	radioattività	

- *manufatti:* se con una diga si blocca l'acqua di un fiume è possibile trasformare, attraverso una serie di condotte e di macchine, l'energia potenziale gravitazionale dell'acqua in energia cinetica, meccanica ed elettrica; in modo simile i mulini a vento possono convertire l'energia cinetica di masse d'aria in movimento;
- *corpi celesti:* il Sole è una fonte di energia luminosa; la Terra è una fonte di energia termica (dal sottosuolo) e gravitazionale (il vaso che cade).

È bene ricordare che le fonti di energia non sono unicamente fonti di energia: con i combustibili fossili produciamo un'infinità di cose utili (come plastica, fertilizzanti, farmaci); con una diga possiamo controllare i regimi delle acque; quanto alla Terra, non è difficile vedere che è utile per molti altri scopi.

Fukushima e il futuro del nucleare

*La realtà ha la sconcertante abitudine
di metterci di fronte all'imprevisto
per cui, appunto, non eravamo preparati.*

Hannah Arendt

Alle 14.46 dell'11 marzo 2011 un terremoto di magnitudo 9.0 con epicentro in mare, e lo tsunami che l'ha seguito, hanno sconvolto la costa nord-orientale del Giappone, danneggiando 11 reattori nucleari situati in 4 centrali. Le conseguenze più gravi si sono verificate nella centrale Fukushima-1 (Fukushima Daiichi), che comprende sei reattori ed è gestita dalla Tokyo Electric Power Company (Tepco).

Che cosa è successo a Fukushima Daiichi?

Le unità 1, 2 e 3 erano operative al momento del terremoto, mentre le unità 4, 5 e 6 erano spente per manutenzione. Il reattore 4 era vuoto, con tutte le barre di combustibile trasferite nella piscina di raffreddamento.

In seguito al terremoto le unità 1, 2 e 3 si sono fermate automaticamente. Tuttavia un reattore nucleare continua a generare calore anche dopo il blocco della reazione a catena, a causa dei processi

radioattivi spontanei: perciò è assolutamente necessario proseguire il raffreddamento.

Il terremoto però ha danneggiato i tralicci della rete elettrica, provocando un *black out*. Sono allora entrati in azione motori diesel di emergenza per far funzionare le pompe dell'acqua, ma dopo meno di un'ora uno tsunami con onde alte 14 metri, più del doppio del muro di protezione della centrale, ha allagato i locali delle pompe e ha reso inutilizzabili i motori diesel.

Per qualche tempo un parziale pompaggio di acqua è continuato con energia fornita da batterie di emergenza; poi, venendo a mancare il raffreddamento, i reattori hanno incominciato a surriscaldarsi.

In seguito, a causa della mancanza di raffreddamento, l'acqua dei reattori e delle piscine è parzialmente evaporata, lasciando esposte le barre di combustibile. La temperatura è ulteriormente aumenta-



Figura 22. Una foto da satellite dei quattro reattori della centrale Fukushima Daiichi danneggiati dalle esplosioni del marzo 2011. (Per gentile concessione di Digital Globe)

ta e la scissione termica dell'acqua a contatto con i materiali surriscaldati (in particolare, lo zirconio che ricopre le barre di combustibile) ha generato idrogeno che poi è esploso distruggendo la parte superiore degli edifici dei reattori 1, 3 e 4 (figura 22).

Man mano che la temperatura saliva, i prodotti più volatili della fissione, ^{131}I e ^{137}Cs , passavano nell'atmosfera. Nel tentativo di limitare l'aumento di temperatura si è versata acqua di mare sui reattori mediante elicotteri, una misura del tutto inefficace anche perché l'acqua era dispersa dal vento. Poi si è cercato di usare cannoni ad acqua, provocando un forte riflusso di materiali radioattivi nell'oceano.

A causa dell'aumento della temperatura tutto il combustibile del reattore 1 – e probabilmente anche quello dei reattori 2 e 3 – si è liquefatto insieme a parte delle strutture, generando un magma altamente radioattivo e corrosivo, chiamato *corio*, che ha raggiunto i 2500 °C.

Quale sia realmente la situazione dentro i vari reattori non sarà possibile stabilirlo prima di parecchio tempo; a Three Mile Island dovettero trascorrere tre anni dall'incidente prima che si potesse ispezionare con una telecamera il nocciolo del reattore.

L'incidente di Fukushima, inizialmente classificato di livello 3 nella scala INES (International Nuclear and Radiological Event Scale), è stato poi innalzato al livello 7, lo stesso raggiunto dal disastro di Chernobyl, che è il massimo della scala.

L'agenzia per la sicurezza nucleare giapponese ha stimato che il materiale radioattivo emesso nell'at-

mosfera nel primo mese dopo l'incidente fosse circa il 10% di quello emesso nell'incidente di Chernobyl. Molto altro materiale radioattivo è certamente uscito anche in seguito, particolarmente nel terreno sotto i reattori e nell'oceano. La Tepco ha stimato in sei mesi il tempo necessario per completare il raffreddamento delle barre di combustibile presenti nei reattori e nelle piscine. Una volta che la situazione sarà tornata sotto controllo dal punto di vista della sicurezza, si deciderà che cosa fare. In ogni caso il problema si protrarrà per decenni, come insegna l'esperienza di Chernobyl.

Quali conseguenze ci sono state per la popolazione?

L'emissione di materiale radioattivo dai reattori 1, 2 e 3 e dalla piscina del reattore 4 è continuata per mesi. La diffusione nell'aria e la successiva ricaduta al suolo hanno interessato particolarmente la zona a nord della centrale. Per fortuna dopo l'incidente il vento è spirato per lo più verso l'oceano, a est.

I principali elementi radioattivi diffusi sono stati ^{131}I (con emivita di 8 giorni) e ^{137}Cs (emivita: 30 anni) che, in piccole quantità, sono stati misurati un po' in tutto il mondo.

Le autorità giapponesi hanno ammesso anche la fuoriuscita di ^{90}Sr (emivita: 28 anni) e di piccole quantità di ^{239}Pu (emivita: 24000 anni), presumibilmente dal reattore 3 che era alimentato da Mox (*mixed oxide*), un combustibile che contiene il 5% di plutonio.

L'unità di misura SI della dose di radiazioni assorbita dall'organismo è chiamata sievert (Sv). La soglia

massima consigliata dalle autorità internazionali per i lavoratori delle centrali è di 20 millisievert (mSv) all'anno. Per il governo giapponese la dose ammessa era di 100 mSv/anno, innalzata a 250 mSv/anno dopo l'incidente. Almeno 50 lavoratori sono stati contaminati oltre questo limite.

Il raggio di pericolo per la popolazione è stato esteso dagli iniziali 3 km a 10 km, poi a 20 km e infine a 30 km attorno alla centrale. In totale le persone evacuate sono state almeno 80000; molte di queste hanno ricevuto dosi imprecisate di radiazioni. Il livello di informazione è sempre stato scarso, tanto da sollevare le proteste anche di altri Paesi. La contaminazione radioattiva ha interessato l'aria, l'acqua, i vegetali, la carne e il pesce. Nelle zone evacuate le coltivazioni e la pesca sono state proibite. È stato scoraggiato anche il consumo di tè, la bevanda preferita dai giapponesi, di cui è stata proibita l'esportazione.

È difficile stabilire quale sarà il rischio effettivo per la salute delle persone. In seguito all'esposizione alle radiazioni possono insorgere tumori. Tuttavia, dato il lungo tempo di latenza di queste malattie, sarà molto difficile distinguere gli effetti dell'incidente da quelli provocati da altre cause. Se dopo un incidente nucleare si fa uno studio epidemiologico serio (cosa che a Chernobyl non è accaduta), soltanto dopo decenni si possono ottenere stime statistiche, affette comunque da numerosi elementi di incertezza.

Basti pensare al caso delle persone che sono morte o moriranno prematuramente a causa dell'incidente di Chernobyl: secondo l'UNSCEAR (United Nations

Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) il numero delle vittime sarà compreso tra 65 e 4000 in ottant'anni, ma altre stime provenienti dall'ex Unione Sovietica e dalla Accademia nazionale delle scienze Usa parlano di un milione di morti, e Greenpeace addirittura di sei milioni. Va detto che il comitato UNSCEAR, che minimizza i danni di Chernobyl, è di fatto controllato dalla lobby nucleare.

Le discordanze fra le fonti sono dovute a varie ragioni. Raramente le radiazioni hanno un effetto letale immediato, come accade invece in altri incidenti. Se poi le persone colpite da radiazioni (spesso in quantità non ben nota) muoiono dopo anni per un cancro, non ci sarà mai la prova diretta che quel tumore sia stato originato proprio dalle radiazioni.

Bisogna poi considerare che le radiazioni hanno effetti che vanno al di là del danno fisico. Le persone evacuate saranno costrette a vivere a lungo lontano dai luoghi d'origine, tormentate dalla preoccupazione di aver assorbito una dose di radiazioni sufficiente a compromettere la loro salute, come una bomba a orologeria. Per questo, come è già avvenuto a Chernobyl, gli evacuati saranno facili prede di sindromi depressive che possono portare a maggiore vulnerabilità ad altre malattie, all'alcolismo e anche al suicidio.

Che cosa insegna il disastro di Fukushima?

Più che insegnamenti, da Fukushima vengono conferme. Se ce ne fosse stato ancora bisogno, l'inciden-

te ha dimostrato che la sicurezza assoluta non esiste, perché non si può prevedere l'imprevedibile. Se poi si vuole aumentare la sicurezza, bisogna aumentare la complessità e la robustezza del sistema e quindi moltiplicare i costi.

Fukushima conferma anche che un incidente nucleare grave, a differenza di qualsiasi altro tipo di incidente, non è delimitabile nello spazio né nel tempo. La radioattività infatti si trasmette in gran parte attraverso l'atmosfera e la catena alimentare, che non possiamo controllare, e può compromettere l'uso di un territorio anche per migliaia di anni. Proprio per queste caratteristiche nessuna assicurazione copre i danni causati da un grave incidente nucleare, e neppure un governo può farvi fronte.

Allo stesso tempo l'incidente di Fukushima conferma che i danni diminuiscono man mano che ci si allontana dal luogo dell'incidente. Sono dunque privi di senso i discorsi di chi in Italia sostiene che «ci sono molte centrali nucleari al di là delle Alpi che, in caso di incidente, causerebbero danni come se fossero qui nella Valle Padana».

Fukushima insegna – ma anche questo già si sapeva – che gli enormi interessi economici e politici coinvolti nel nucleare impediscono una gestione trasparente di eventuali incidenti: non ci si può fidare di quello che viene comunicato dalle aziende che gestiscono le centrali e neppure dai governi.

La Tepco era già nota per avere in passato contraffatto dati sulla sicurezza delle sue centrali e il governo giapponese a fatica è riuscito a prendere

in mano la situazione soltanto alcuni giorni dopo l'incidente. A sua volta il governo non ha consultato l'apposita unità di crisi e non si è servito dei dati raccolti da una pur esistente rete nazionale di dosimetri, gli strumenti che misurano l'intensità delle radiazioni ionizzanti.

Va aggiunto che non è tutt'ora chiaro quale possa essere il ruolo dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica (IAEA) nel caso di incidenti nucleari, né quale sia il suo grado di indipendenza dagli Stati membri. Dopo Fukushima l'IAEA per molti giorni non ha fatto altro che riportare le notizie date dalla Tepco e dal governo giapponese; ha poi inviato un proprio gruppo di esperti in Giappone soltanto due mesi e dieci giorni dopo l'incidente.

Fukushima insegna che un grave incidente nucleare causa non soltanto il collasso economico dell'azienda che gestisce la centrale (danni stimati provvisoriamente: da 100 a 200 miliardi di euro, pari al costo di costruzione di 30-50 centrali; per confronto, il fondo di compensazione imposto dal governo Usa alla BP per il disastro del 2010 causato nel Golfo del Messico dalla piattaforma Deepwater Horizon è stato di 20 miliardi di dollari), ma anche molti problemi per la nazione intera, particolarmente in Paesi fortemente nuclearizzati come il Giappone.

Dopo l'incidente di Fukushima soltanto 16 dei 54 reattori giapponesi sono rimasti in funzione e, a causa della scarsità di energia elettrica, è diminuita fortemente la produzione industriale. È dovuto cambiare anche lo stile di vita: si è limitato drasti-

camente l'uso degli ascensori e dei condizionatori, si sono riaperte le finestre degli uffici, si è attenuata l'illuminazione dei negozi e gli impiegati sono andati a lavorare senza giacca e cravatta. Forse ci si poteva pensare prima a consumare meno energia, così da avere bisogno di un numero minore di centrali.

Fukushima insegna anche che nella tecnologia nucleare, già di per sé pericolosa, il tentativo di fare maggiori profitti può accrescere i rischi per la popolazione. Il reattore 3 era alimentato in parte con Mox, una miscela di uranio e plutonio ottenuta dal combustibile esausto e molto più pericolosa del solo uranio. Francia e Regno Unito, molto attivi in questo campo a differenza degli Usa, avevano stipulato accordi con il Giappone per riciclare il suo combustibile esausto e fornirgli Mox. Ora che il Giappone e altre nazioni hanno rinunciato ai piani di estensione dell'uso del Mox, Francia e Regno Unito si trovano in grande difficoltà. In particolare i britannici hanno chiuso un costosissimo impianto per produrre Mox, costruito a Sellafield e mai entrato veramente in funzione. Un messaggio segreto carpito da Wikileaks all'ambasciata Usa a Londra parla a questo proposito del più imbarazzante disastro economico della storia industriale britannica.

Infine l'incidente di Fukushima ha messo a nudo la pericolosità del fare della tecnologia un idolo. Il Giappone, nazione con scarse risorse naturali, nel dopoguerra si è illuso che l'energia nucleare – che pure aveva distrutto due sue città, uccidendo 180 000 persone – potesse offrire la soluzione ideale al problema energetico. Forti pressioni del governo

e vaste, continue e costosissime campagne pubblicitarie delle compagnie elettriche hanno costruito con il passare degli anni il mito del «nucleare sicuro». Libri di testo, centri di pubbliche relazioni, parchi tematici rivolti particolarmente ai bambini, dove il nucleare è descritto come il paese delle meraviglie, hanno inculcato l'idea che l'energia nucleare sia non soltanto necessaria, ma anche assolutamente sicura.

Così è accaduto che, in un Paese dove le auto con appena tre anni di vita sono sottoposte a minuziose revisioni per poter circolare, reattori vecchi di decenni fossero controllati esclusivamente da chi non aveva alcun interesse a fermarli.

Quanto costa oggi l'energia nucleare?

A questa domanda, per varie ragioni, non è possibile dare risposta. È però indiscutibile che il nucleare non è economicamente conveniente in un regime di libero mercato, dove si richiede che ogni nuova centrale sia proposta, sviluppata, costruita e gestita dal settore privato, che dovrebbe poi anche sostenere gli interi costi dello smantellamento e della gestione delle scorie.

L'agenzia Moody's ha avvertito che un progetto di costruzione di una nuova centrale nucleare può aumentare il profilo di rischio dell'azienda costruttrice, esponendola al ribasso del suo *rating*. Dal canto suo Citigroup, il più grande fornitore di servizi finanziari del mondo, ha perentoriamente affermato: «*New nuclear: the economics say no*» («Nuovo nucleare: le considerazioni economiche dicono di no»).

Astronave Italia

*In Italia la linea più breve
tra due punti è l'arabesco.*

Ennio Flaiano

In occasione della breve campagna referendaria del 2011, sulle reti televisive italiane sono andati in onda accessi dibattiti sull'energia nucleare. Purtroppo in quelle occasioni si è quasi sempre ignorato un fattore che già da tempo detta la strategia obbligata per le scelte energetiche italiane.

Smettere di navigare a vista

Secondo la direttiva n. 28 del 2009 – meglio nota come «20/20/20» – l'Unione Europea entro il 2020 dovrà portare al 20% la produzione di energia rinnovabile negli usi finali, ridurre del 20% le emissioni di CO₂ e, mediante una maggiore efficienza, ridurre del 20% i consumi di energia. Sembrerebbe un libro dei sogni, ma in realtà ci sono Paesi europei che spingono per innalzare ulteriormente la soglia di produzione rinnovabile al 30%.

In questo quadro legislativo ogni Paese ha la propria specifica tabella di marcia, dettata da ragioni storiche ed economiche. In base al principio del *burden sharing*, le amministrazioni statali dovranno distribui-

re equamente il carico complessivo su quelle periferiche (Regioni, Province, Comuni). Nessuno potrà dire «Io non c'entro».

Dal 2005 (anno di riferimento) al 2020 l'Italia dovrà passare dal 5,2% al 17% di quota rinnovabile sul consumo *finale complessivo*: cioè non solo elettricità, ma anche trasporti e calore.

Le nazioni che non rispetteranno gli obblighi patuiti saranno obbligate ad acquistare energia dalle nazioni che vanteranno un surplus prodotto da fonti rinnovabili. A partire dal 2020 questi Paesi detteranno il prezzo ai meno virtuosi, ed è prevedibile che non saranno molto indulgenti.

In questo conteso vincolante era lecito aspettarsi che la classe dirigente italiana si adoperasse per farci trovare preparati alla data fatidica del 2020. È successo esattamente il contrario. Da un lato abbiamo perso tempo in inutili discussioni sul nucleare, una tecnologia basata su fonti non rinnovabili che da noi avrebbe cominciato a produrre energia fra vent'anni.

D'altro canto il «piano di azione» 2010 del governo italiano alzava bandiera bianca prevedendo, per il 2020, un'importazione di energia rinnovabile – presumibilmente elettrica, la più facile da trasportare – equivalente alla produzione di una megacentrale da 1500 MW. Nel 2011, in un sobbalzo di ulteriore autolesionismo, lo stesso governo riduceva gli incentivi alle fonti rinnovabili, creando il panico in uno dei più esuberanti settori industriali del Paese.

Tutta questa vicenda, di cui molti cittadini italiani sono all'oscuro, porrà entro dieci anni l'Italia in

condizioni di grave svantaggio economico e tecnologico. E se invece ci mettessimo in testa di impegnarci seriamente e di cambiare radicalmente rotta, che cosa potremmo fare?

Gli esperti, per esempio il nostro collega Leonardo Setti e l'Energy and Strategy Group del Politecnico di Milano, hanno idee chiare in proposito.

Dove risparmiare energia

La distribuzione dei consumi finali di energia in Italia è all'incirca la seguente: 50% calore, 30% trasporti, 20% elettricità.

Quanto alle fonti primarie utilizzate, il gas domina la produzione di calore (65%) e di elettricità (50%), mentre il settore dei trasporti è alimentato essenzialmente da prodotti petroliferi (97%).

La direttiva UE ci chiede in buona sostanza di diminuire i consumi energetici del 20% entro il 2020. Per la prima volta nella storia viene tradotto in legge un fatto ormai assodato: oggi la tecnologia ci permette di vivere bene (anzi, meglio) consumando meno energia di quel che facevamo anche soltanto 10 anni fa. In altre parole: il paniere energetico europeo del 2020 deve essere ridotto di un quinto rispetto all'attuale, che è superato e pieno di buchi.

In Italia dobbiamo passare da 135 Mtep (nel 2005) a 108 Mtep (nel 2020) di consumi finali di energia. Il risparmio di 27 Mtep equivale a 310 TWh di energia elettrica o a 33 miliardi di metri cubi di gas; ognuno può impiegare l'unità di misura che preferisce.

Per raggiungere questo ambizioso obiettivo si può individuare una serie di azioni che nel corso del prossimo decennio possono portare a un risparmio di circa 40 Mtep, garantendo con buon margine la soglia minima di riduzione dei consumi pattuita con l'Europa per il 2020:

- a. 5,5 Mtep da una capillare campagna di educazione, sui mezzi di comunicazione e nelle scuole, al consumo energetico responsabile
- b. 1 Mtep dall'eliminazione dell'uso dell'elettricità per il riscaldamento di acqua in lavatrici, lavastoviglie e boiler, utilizzando invece direttamente metano o, ovunque sia possibile, pannelli solari termici
- c. 15 Mtep dalla sostituzione di tutte le apparecchiature elettriche oggi in funzione (elettrodomestici, illuminazione) con quelle più efficienti già disponibili sul mercato, e dal miglioramento dell'efficienza dei motori elettrici industriali
- d. 12 Mtep dalla riqualificazione e certificazione energetica di almeno il 70% del parco edifici, circa 18 milioni di fabbricati
- e. 6,5 Mtep da un'azione di prevenzione dei consumi nei trasporti attraverso misure sui veicoli (pneumatici, lubrificanti), sul comportamento del guidatore (*ecodriving, car sharing*), sulle infrastrutture (controllo dinamico dei semafori, manto stradale, gestione trasporto merci) e infine, perché no, da una seria disincentivazione fiscale sulle auto potenti e da una riduzione del limite di velocità sulle autostrade a 120 km/h.

L'energia risparmiata con queste azioni nel settore residenziale e industriale (escludendo i trasporti) sarebbe in gran parte elettricità e calore, ossia metano, in quantità pari a 27 miliardi di m³.

Italia paese del sole

Per chi si occupa seriamente di questioni energetiche, la scarsissima diffusione del solare termico in Italia è motivo di insopportabile imbarazzo.

Per raggiungere livelli europei dovremmo mirare a installare entro il 2020 pannelli solari termici pari come minimo a 25 milioni di metri quadrati. Nel 2011 siamo a soli 2,1 milioni di m²: dovremmo quindi aggiungere oltre 2 milioni di m² di nuovi pannelli ogni anno, come sta avvenendo in Germania. Questa operazione porterebbe nel 2020 a un risparmio annuale di 2,5 miliardi di m³ di gas che oggi stiamo buttando dalla finestra, anzi dai nostri tetti.

Quanto al fotovoltaico, nel luglio 2011 in Italia si è superata la soglia di 8 GWp di potenza installata.* Il nostro parco fotovoltaico dunque produce già più energia elettrica di quanta ne produrrebbe una centrale nucleare da 1000 MW. Questa produzione, che i detrattori sminuiscono perché è concentrata nelle ore diurne, proprio per questo motivo possiede in realtà un valore economico e di sistema importantissimo: è disponibile nei momenti del picco dei consumi, quando la domanda e il prezzo dell'elettricità sono ai valori massimi.

* Il Wp (watt di picco) misura la potenza che un pannello fotovoltaico produce in condizioni standard di funzionamento, con un irraggiamento solare pari a 1000 W/m² a 25 °C. Alle nostre latitudini questa potenza di picco si raggiunge nelle ore centrali della giornata; all'atto pratico, installando 1 kWp si producono in media ogni giorno 3-4 kWh di energia elettrica.

Un obiettivo minimo per il 2020 è quello di raddoppiare il parco fotovoltaico, raggiungendo quota 16 GWp. Questi impianti produrrebbero 19 TWh/anno, circa il 6% dei nostri consumi elettrici, permettendo di risparmiare 2,2 Mtep di gas (2,6 miliardi di m³) e 0,7 Mtep di combustibili solidi e liquidi.

Questa quantità di elettricità, prodotta localmente da milioni di cittadini e imprese, equivarrebbe a un quarto della produzione dei reattori nucleari EPR che – secondo il progetto governativo cancellato dal referendum del 2011 – avrebbero dovuto operare sotto il rigido controllo di due multinazionali (fermo restando che quei fantomatici reattori non avrebbero prodotto un solo kWh prima del 2020).

Il fotovoltaico italiano produce *già oggi* e cresce giorno dopo giorno. Per sottolineare quanto sia modesto il citato obiettivo di 16 GWp per il 2020, basti ricordare che la Germania aveva 18 GWp di fotovoltaico già nel 2010, e mira a 52 GWp nel 2020.

Un altro settore in cui l'Italia ha accumulato ritardi è quello del solare a concentrazione, a cui abbiamo accennato nel capitolo 7. Per il 2020 il nostro Paese dovrebbe porsi come minimo l'obiettivo di realizzare due centrali da 50 MW con accumulo di calore, per la produzione di circa 0,5 TWh di elettricità.

Una partecipazione attiva dell'Italia al progetto Desertec, che mira a condividere le risorse rinnovabili – solari, eoliche, geotermiche, idroelettriche – di Europa, Nordafrica e Medio Oriente, potrebbe innalzare sensibilmente la nostra quota di produzione elettrica da solare a concentrazione. La nostra posizione geo-

grafica nel cuore del progetto (figura 24) ci renderebbe partner chiave per l'infrastruttura di trasporto.

Vento, geotermia, biomasse

La potenza eolica installata in Italia a fine 2010 era di quasi 6000 MW. Un obiettivo minimale per il 2020 è arrivare a 16 000 MW per produrre 27 TWh di elettricità, pari all'8% del fabbisogno elettrico nazionale. Questo permetterebbe di tagliare i consumi di gas di circa 3 miliardi di m³ (2,5 Mtep) e di risparmiare un ulteriore Mtep di combustibili fossili.

Un altro obiettivo importante è raddoppiare la produzione elettrica per via geotermica fino ad ar-

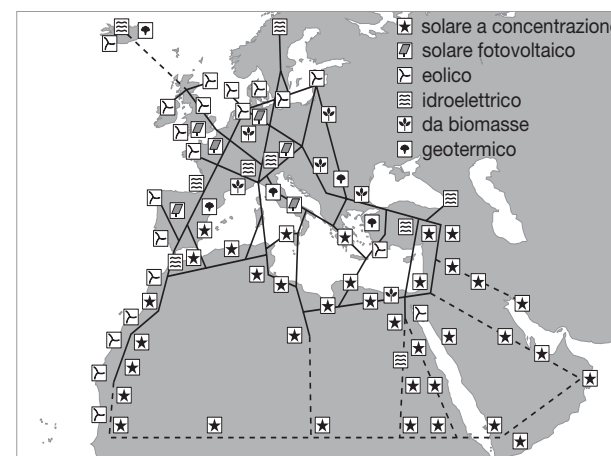


Figura 24. Una rappresentazione schematica della rete energetica prevista dal progetto Desertec (www.desertec.org).

rivare a 10 TWh/anno, risparmiando così altri 600 milioni di m³ di gas.

Nel quadro italiano un ruolo strategico sarebbe giocato dalle biomasse, combustibili solari che si possono immagazzinare e risultano perciò essenziali nella gestione integrata di un sistema energetico rinnovabile. Per ragioni di spazio ci limiteremo a citare qualche cifra, senza entrare nel dettaglio.

Il potenziale complessivo *sostenibile* delle biomasse di produzione nazionale – *non* importate – si può stimare in 15 Mtep/anno: per metà si tratta di residui agricoli e industriali, per un quarto di biomasse forestali e per un altro quarto di coltivazioni dedicate.

Oggi sfruttiamo circa il 15% di questo potenziale, ma occorre puntare a un obiettivo del 50% tramite:

- a. biomasse legnose per il riscaldamento domestico e industriale, attraverso una produzione centralizzata ovunque possibile
- b. biogas generato dagli scarti della filiera agroalimentare e immesso nella rete nazionale di distribuzione del metano (ciò avviene già in Germania, ma non è ancora legale in Italia)
- c. biogas prodotto nell'ambito della gestione integrata dei rifiuti solidi urbani
- d. biodiesel e bioetanolo da coltivazioni dedicate.

La messa in opera di impianti di produzione energetica rinnovabile richiede però tre elementi imprescindibili: rigore scientifico, programmazione e coinvolgimento delle popolazioni locali. Negli ultimi anni si è spesso assistito alla realizzazione di pro-