

«Da'opera da leggere e da far leggere, soprattutto ai propri figli.»
Il Sole 24 Ore

JEREMY RIFKIN



ECONOMIA ALL'IDROGENO



La creazione del
Worldwide Energy Web
e la redistribuzione
del potere sulla terra

OSCAR NOVADORA

JEREMY RIFKIN

ECONOMIA ALL'IDROGENO

*La creazione del Worldwide Energy Web
e la redistribuzione del potere sulla terra*

Traduzione di Paolo Cantori

I

Fra due realtà

Nel corso della storia è sempre accaduto che l'uomo si sia trovato in una situazione di incertezza di fronte a due modi profondamente diversi di interpretare la realtà. Fu senza dubbio questo il caso che si verificò alla fine del Seicento, quando gli scienziati e i filosofi razionalisti - Isaac Newton, John Locke, René Descartes e altri - misero in discussione alcuni dogmi della Chiesa, fra i quali anche una dottrina fondamentale: quella che considerava la terra come una creazione di Dio e, quindi, dotata di valore intrinseco. I nuovi pensatori propendevano per una visione più materialistica dell'esistenza, fondata sulla matematica e sulla «ragione». Meno di un secolo dopo, gli insorti delle colonie americane e i rivoluzionari francesi scalzarono il potere monarchico, che sostituirono con la forma di governo repubblicana, proclamando «il diritto inalienabile» dell'uomo «alla vita, alla libertà, alla felicità e alla proprietà». Alla vigilia della Rivoluzione americana, James Watt brevettò la macchina a vapore, istituendo un nesso fra il carbone e lo spirito prometeico della nuova era; l'umanità mosse così i suoi primi, malfermi passi verso lo stile di vita industriale che, nei due secoli successivi, avrebbe radicalmente cambiato il mondo.

Oggi viviamo in un'epoca di grande tumulto, di ideologie in macerie e di opportunità completamente nuove. Dopo duecento anni di produzione industriale e di commercio, il lavoro di massa - vincolato a macchine mosse dall'energia dei combustibili fossili - nelle fabbriche, negli

uffici e nelle imprese commerciali conosce un lento declino. Nuove macchine, più sofisticate e intelligenti, stanno progressivamente sostituendo il lavoro umano in tutti i settori industriali e in tutte le attività professionali. Siamo sul punto di compiere il grande passo verso una ristretta forza lavoro elitaria che opera avvalendosi di computer sempre più potenti e di tecnologie sempre più automatizzate. Nell'arco di pochi decenni, i lavoratori più economici del mondo lo saranno meno delle nuove tecnologie intelligenti progettate per rimpiazzarli, tanto nella produzione quanto nei rapporti con la clientela. Verso la metà del ventunesimo secolo, saremo in grado di produrre beni e servizi per l'intera popolazione mondiale utilizzando soltanto un'esigua frazione della forza lavoro umana attualmente impiegata, e questo ci costringerà a ripensare la funzione sociale degli individui, il cui lavoro non sarà più necessario nell'economia di mercato.

La fisica e la chimica, che hanno dominato l'epoca appena conclusa, influenzando ogni aspetto dell'esistenza, fin nei minimi dettagli, stanno cedendo il passo alla biologia. La mappatura e la manipolazione del genoma - umano, animale e vegetale - apre le porte a una nuova era, in cui la vita stessa diventa la principale merce. L'avvento del *biotech* sta cominciando a sollevare domande fondamentali sull'essenza della natura umana, e l'opinione pubblica è sempre più coinvolta nella diatriba fra chi considera quest'epoca come un nuovo Rinascimento e chi teme l'avvento di una civiltà dell'eugenetica economica.

Dalla rivoluzione dei computer e delle telecomunicazioni sono nati Internet e il World Wide Web, che hanno determinato un grande cambiamento nei sistemi umani di comunicazione. L'«accesso» è diventato la metafora prevalente per una generazione di individui che oggi si possono mettere in contatto gli uni con gli altri attraverso un «sistema nervoso centrale» mediato elettronicamente ed esteso su tutta la superficie del globo terrestre. La nuova società «alla velocità della luce» sta imponendo drastici cambia-

menti anche nei modi di gestire le attività economiche. L'economia di mercato, fondata sullo scambio di beni e servizi fra acquirenti e venditori, si scopre troppo lenta per adattarsi al nuovo, forsennato ritmo della vita economica. Nell'era che si sta aprendo, lo scambio di proprietà sui mercati cede progressivamente il passo all'accesso a servizi ed esperienze all'interno di network. In una società in cui il tempo è la risorsa più scarsa e preziosa, il fornitore conserva la proprietà e l'utente paga il tempo durante il quale accede ai beni e ai servizi. Abbonamenti, leasing, multiproprietà, licenze e noleggi sono diventati le forme più diffuse - assunte dai rapporti economici. La nuova economia «temporale», caratterizzata dalla diminuzione dei costi di transazione e dalla contrazione dei margini di profitto, costringe le aziende a adottare modelli operativi basati su accordi di «condivisione del risparmio» con i partner di un network. Il passaggio dallo scambio di proprietà alle relazioni di accesso, e dal margine di profitto al risparmio condiviso, sta cominciando a dare una nuova struttura alla vita economica del mondo intero.

Anche il concetto di cultura sta rapidamente mutando. I giganti della produzione di contenuti - aziende come Disney, Universal-Vivendi, AOL-Time Warner e Sony - stanno sfruttando le risorse culturali di tutto il mondo, trasformandole in esperienze a pagamento di ogni tipo. Oggi la fascia di consumatori ad alto reddito - il 20% dei consumatori mondiali - spende per l'acquisto di esperienze tanto denaro quanto per comperare beni e servizi fondamentali.

Una giovane generazione di intellettuali che si oppone alla nuova economia ha lanciato una battaglia, dai toni sempre più accesi, contro il *branding*, il marketing degli stili di vita, nuove forme di franchising commerciale e di intrattenimento che, a loro avviso, stanno determinando un'omogeneizzazione della cultura. Essi affermano che questo nuovo commercio globale rappresenta una minaccia per la diversità culturale e reclamano una maggiore tutela delle tradizioni locali. Il tentativo della sfera econo-

mica di assorbire quella culturale, diventando l'unico arbitro della storia dell'uomo, rappresenta un punto di svolta nella relazione fra economia e cultura, con profonde conseguenze a lungo termine per la società.

La trasformazione della natura del lavoro, l'emergere delle biotecnologie e la rivoluzione nelle comunicazioni, la crescente temporalizzazione dell'attività economica e la lotta globale fra economia e cultura stanno modificando radicalmente sia la concezione sia la realtà del mondo che ci circonda.

Nel medesimo contesto è in atto un cambiamento altrettanto profondo nelle modalità di utilizzo dell'energia. L'era moderna è stata resa possibile dallo sfruttamento dell'energia contenuta nei depositi di idrocarburi: carbone, petrolio e gas naturale. Tutti i progressi - economici, politici e sociali - degli ultimi due secoli sono legati, in qualche misura, allo straordinario aumento della disponibilità di energia, determinato dallo sfruttamento dei combustibili fossili.

Gli antropologi affermano che la quantità di energia consumata pro capite è un buon indice dello stato di avanzamento di una società. Ebbene, negli ultimi duecento anni le società occidentali hanno utilizzato più energia di tutte le altre civiltà che si sono avvicinate sul nostro pianeta. Abbiamo raggiunto un tenore di vita senza precedenti e dobbiamo questa fortuna a giacimenti di combustibili fossili formati milioni di anni fa. Una manna, certo. Che però non è venuta dal cielo, ma dalle viscere della terra.

Ma, come tutte le fortune, anche questa è destinata a finire. Per molto tempo abbiamo ingenuamente cullato l'idea che le riserve di idrocarburi nascoste sotto la superficie terrestre fossero, se non illimitate, almeno sufficienti a soddisfare i nostri bisogni per un periodo di tempo indefinitamente lungo. Quando, nel 1970, la produzione petrolifera degli Stati Uniti raggiunse il culmine - e la metà delle riserve complessive del sottosuolo americano era già stata estratta - i geologi cominciarono a manifestare un certo disagio. Tuttavia, dal momento che il petrolio continuava

a sgorgare copiosamente in altre regioni del mondo, il cittadino medio statunitense non prestò alla cosa eccessiva attenzione. Fu solo tre anni dopo, con l'embargo del petrolio arabo, che i consumatori occidentali, in primo luogo quelli americani, presero coscienza del problema. Stare per ore in coda alle stazioni di rifornimento, nella speranza di procurarsi qualche litro di benzina, contribuì a far acquisire a milioni di persone una nuova consapevolezza. All'epoca vi fu chi avvertì che avremmo ben presto esaurito il nostro petrolio. Ma questo non accadde. Gli Stati Uniti, le altre nazioni occidentali e le principali società petrolifere si lanciarono nella spasmodica ricerca di nuovi giacimenti. E li trovarono. Le code alle stazioni di servizio si accorciarono e la crisi petrolifera fu superata. La benzina tornò a sgorgare dalle pompe, e a un prezzo sempre più contenuto. Il mondo intero tornò a far finta che nulla fosse accaduto.

Attualmente, sui mercati mondiali il prezzo del greggio è relativamente basso. Gli esperti ci dicono che prima o poi il petrolio, come il gas naturale, comincerà a esaurirsi, ma solo fra trenta o quarant'anni, o anche dopo: insomma, c'è tutto il tempo per pianificare fonti alternative di energia.

Ma che cosa accadrebbe se improvvisamente vi dicesse che le cose non stanno esattamente come sembra? Immaginate di svegliarvi una mattina e di trovare sui giornali un titolo come questo: *La produzione petrolifera ha raggiunto il picco. Nei prossimi anni i prezzi sono destinati a salire.**

È quanto va dicendo da qualche tempo un gruppo, sempre più numeroso, di geologi di fama mondiale. Questa volta, affermano, si va profilando all'orizzonte una vera crisi petrolifera e, quando arriverà, sarà permanente. Dunque, cosa ci riservano gli anni a venire?

* Il «picco» corrisponde al momento in cui è già stata estratta la metà delle riserve stimate di petrolio disponibili (EUR, Estimated Ultimate Recoverable Reserve).

Se nel prossimo decennio la produzione mondiale di petrolio raggiungesse il picco, e se subito dopo facesse altrettanto quella di gas naturale, si potrebbe innescare una catena di eventi che rischierebbero di distruggere il nostro stile di vita industriale. In particolare, sono due gli elementi destinati a ricoprire, con ogni probabilità, un ruolo fondamentale nel futuro scenario petrolifero.

Primo elemento. Anche se gli esperti non concordano sul momento in cui la produzione mondiale di petrolio raggiungerà il picco, sono tuttavia unanimi nel ritenere che, quando ciò accadrà, la quasi totalità delle riserve petrolifere mondiali ancora sfruttabili sarà nelle mani di alcuni paesi musulmani, con un conseguente potenziale pericolo per l'attuale equilibrio di potere nel mondo. La concomitanza di una progressiva, rapida riduzione delle riserve petrolifere e di un crescente impegno politico di ampie fasce della gioventù musulmana del mondo rischia di diventare una minaccia per la stabilità economica e politica del mondo intero. I leader politici e gli analisti sono particolarmente preoccupati per l'aggravarsi del conflitto israelo-palestinese e per la possibilità che, in futuro, i fondamentalisti islamici possano esercitare pressioni tali sui governi dei propri paesi da indurli a usare il petrolio come un'arma contro gli Stati Uniti e le altre nazioni occidentali che sostengono Israele.

Secondo elemento. Se la produzione mondiale di petrolio e di gas naturale raggiungesse il picco cogliendo il mondo impreparato, gli Stati e le aziende energetiche deciderebbero di sfruttare, come sostituti del petrolio, anche idrocarburi meno «puliti», come carbone, olio combustibile e sabbie bituminose. Il ricorso a questi combustibili comporterebbe un incremento delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera e, di conseguenza, un surriscaldamento della terra addirittura superiore alla già preoccupante stima di un valore oscillante fra 1,5 e 5,8 °C da qui alla fine del ventiduesimo secolo, con ricadute sulla biosfera ancora più devastanti di quelle già previste.⁴

La nostra non è la prima società costretta ad affrontare una crisi energetica. L'energia ha avuto un ruolo importante nell'ascesa e nella caduta delle civiltà; anzi, numerosi storici e antropologi sono convinti che, nella maggior parte dei casi, sia stata un fattore determinante di tali processi. Se vi sono lezioni da apprendere - e ce ne sono - dal modo in cui altre civiltà hanno affrontato le proprie crisi energetiche, è venuto il momento di farne tesoro, ammoniscono le cassandre. La verità è che le leggi che regolano il flusso dell'energia sono ferree e, se infrante, possono far crollare un sistema sociale. Le leggi della termodinamica stabiliscono, in ultima analisi, quali sono i limiti che l'uomo, nel tentativo di dominare l'ambiente, non potrà mai oltrepassare. Le società che tentano di superare i vincoli imposti dal loro stesso regime energetico rischiano la catastrofe.

Nel procedere verso gli ultimi stadi dell'era del petrolio, gli Stati Uniti, come ogni altro paese del mondo, sono esposti a crescenti minacce, interne ed esterne, e al rischio di distruzione. La nostra vulnerabilità è particolarmente elevata a causa di un'infrastruttura energetica molto centralizzata e gerarchizzata, e alla struttura economica che ne deriva, creata per gestire un regime energetico fondato sui combustibili fossili. L'era dei combustibili fossili è infatti caratterizzata da un modello organizzativo verticistico, reso necessario dalle difficoltà legate alla scoperta e allo sfruttamento delle varie forme di energia. Gli enormi costi associati alla lavorazione del carbone, del petrolio e del gas naturale richiedono ingenti investimenti di capitale e portano alla formazione di colossali imprese energetiche. Attualmente, otto mega-aziende - pubbliche e private - dettano i termini del flusso dell'energia attraverso il mondo. Centralizzando il potere sulle risorse energetiche, tali società creano le condizioni che premiano le economie di scala e la centralizzazione dell'attività economica in ogni altro settore.

Lo sfruttamento dei combustibili fossili ha anche reso più veloce la vita economica. La necessità di gestire flussi e

densità crescenti di scambi incentiva la formazione di imprese fortemente centralizzate e gerarchizzate. Oggi, meno di cinquecento aziende globali controllano la maggior parte dell'attività economica del pianeta. La globalizzazione rappresenta lo stadio finale dell'era dei combustibili fossili: un periodo in cui un numero sempre più ristretto di istituzioni aziendali gestiscono in ogni aspetto, anche il più minuto, il flusso d'energia e l'attività economica delle comunità di tutto il mondo.

La globalizzazione è il processo dinamico che caratterizza il nostro tempo. I suoi sostenitori la considerano all'origine del prossimo grande progresso economico dell'umanità e un modo per migliorare la vita degli individui in ogni angolo della terra. I suoi detrattori la ritengono il più pernicioso sistema di dominio delle imprese sugli affari della società e un mezzo per approfondire il divario fra ricchi e poveri. Le multinazionali, con l'aiuto delle nazioni del G7, stanno premendo per una modifica delle legislazioni statali che, a loro parere, limitano la libertà degli scambi. I movimenti antiglobalizzazione radunano nelle piazze folle sempre più vaste per protestare contro quelle che vengono giudicate sistematiche infrazioni dei limiti allo sfruttamento dell'ambiente e del lavoro, posti a tutela delle comunità ecologiche e umane del pianeta dalla rapacità delle imprese. I tragici avvenimenti dell'11 settembre, e ciò che ne è seguito, hanno esacerbato le tensioni intorno al fenomeno della globalizzazione e fatto sentire tutti più vulnerabili in quello che è diventato un mondo sempre più insicuro e incerto.

Nonostante vadano aumentando il dissenso e la polarizzazione, pochi sforzi seri sono stati compiuti finora per analizzare i fattori decisivi che hanno portato alla globalizzazione e alle dure reazioni contro di essa. La globalizzazione può essere interpretata da molti e diversi punti di vista, ma nessuno è più importante di quello dell'energia. Troppo spesso tendiamo a dimenticare che senza combustibili fossili la globalizzazione sarebbe stata impossibile. I

combustibili fossili hanno permesso infatti alle imprese di comprimere drasticamente i tempi e di abbreviare le distanze, creando un unico mercato mondiale per lo sfruttamento delle materie prime e del lavoro, e per la commercializzazione dei prodotti finiti e dei servizi.

Non deve meravigliare, quindi, il fatto che per più di un secolo la principale preoccupazione dei governi e delle grandi aziende sia stata il controllo dei giacimenti di combustibili fossili. Per cinque generazioni, la geopolitica è stata, in larga misura, sinonimo di politica del petrolio: i paesi, gli operatori economici e gli individui che hanno governato il flusso del petrolio hanno goduto di una ricchezza incommensurabile, mentre coloro ai quali è stato negato un accesso adeguato al potenziale di accumulazione di ricchezza dell'«oro nero» sono progressivamente scivolati nella povertà, esposti allo sfruttamento e alla marginalizzazione.

Si consideri, a titolo d'esempio, il rialzo del prezzo del petrolio negli anni Settanta-Ottanta, che fu la principale causa dell'aggravarsi del debito dei paesi del Terzo Mondo. Non potendo sostenere l'aumento di spesa connesso con l'elevato prezzo del petrolio sul mercato mondiale, le nazioni sottosviluppate furono costrette a indebitarsi per miliardi di dollari con le istituzioni finanziarie internazionali e con le banche, per garantire l'importazione di petrolio e fronteggiare il conseguente incremento dei costi dell'attività industriale. Negli ultimi anni l'onere del debito è addirittura peggiorato, dal momento che, per modernizzare il proprio sistema economico e soddisfare i bisogni di una popolazione urbana in rapida crescita, i paesi in via di sviluppo sono diventati sempre più dipendenti dal petrolio d'importazione. Oggi, in molti degli Stati più poveri del mondo le spese per pagare gli interessi e ripianare i debiti contratti in passato sono superiori a quelle necessarie per offrire alle proprie popolazioni i servizi fondamentali. Il risultato è un'irreversibile e perversa spirale che li precipita inesorabilmente nella miseria e nella disperazione. Nei recenti fo-

rum sullo sviluppo globale, i contestatori hanno individuato nella crisi debitoria dei paesi poveri il segno più tangibile e nefasto dell'iniquità generata dalla globalizzazione, richiedendo la cancellazione unilaterale del debito. Il regime energetico basato sui combustibili fossili, dunque, è tanto la forza vitale che rende possibile la globalizzazione, quanto uno dei fattori maggiormente responsabili dell'approfondirsi del divario fra nazioni ricche e nazioni povere.

Oggi, però, l'infrastruttura globale creata per sfruttare i combustibili fossili e gestire l'attività industriale comincia a invecchiare e a mostrare segni di cedimento. Si aprono crepe ovunque e aumenta la preoccupazione che non possa più a reggere a lungo. Alcuni geologi stanno già ipotizzando scenari di crollo del sistema. Non essere preparati a ciò che potrebbe accadere - affermano i più catastrofisti - sarebbe un'imperdonabile follia.

Ma cosa significa «essere preparati»? Se l'era dei combustibili fossili sta tramontando, che cosa potrà sostituirla? Quello che ci aspetta è un regime energetico diverso per natura e caratteristiche da quello fondato sui combustibili fossili, proprio come quest'ultimo lo era dal precedente, imperniato sull'energia prodotta dalla combustione del legno.

5

L'idrogeno è il più leggero, elementare e diffuso elemento chimico presente in natura. Sfruttato come fonte di energia, diventa il «carburante perpetuo». È inesauribile e, non contenendo un solo atomo di carbonio, non emette CO₂. L'idrogeno si trova ovunque: sulla terra, nell'acqua, nei combustibili fossili e in tutta la materia vivente. Non esiste, però, in forma libera, quindi deve essere estratto da fonti naturali.

Le fondamenta dell'economia dell'idrogeno sono già gettate. Nei prossimi anni la rivoluzione informatica e delle telecomunicazioni, associata a quella imminente dell'energia dell'idrogeno, costituirà un mix di tale potenza da riconfigurare radicalmente le relazioni umane nel corso del ventunesimo e ventiduesimo secolo. Poiché si trova

ovunque ed è inesauribile, se adeguatamente sfruttato l'idrogeno consentirà a ogni essere umano di «avere potere», diventando la base del primo regime energetico realmente democratico nella storia dell'umanità.

Le celle a combustibile alimentate a idrogeno sono già state commercializzate per produrre energia, luce, calore ed essere installate in fabbriche, uffici, negozi, abitazioni, automobili, autobus e camion. Collocare microimpianti energetici presso l'utente finale - la cosiddetta «generazione distribuita» - mette a repentaglio il tradizionale dominio degli impianti di generazione centralizzati, nati e cresciuti durante l'era dei combustibili fossili. L'utente, non più solo consumatore, può diventare produttore dell'energia che usa. E se milioni di microimpianti sono connessi in un'estesa rete energetica, utilizzando i medesimi principi architettonici di progettazione e le tecnologie intelligenti che hanno reso possibile la nascita del World Wide Web, le persone potranno condividere e scambiare energia fra loro da pari, e sfuggire una volta per tutte alla morsa delle gigantesche società energetiche ed elettriche.

La rete energetica mondiale dell'idrogeno (HEW, Hydrogen Energy Web) sarà la prossima grande rivoluzione economica, tecnologica e sociale della storia. Si innesterà sullo sviluppo della rete globale di comunicazione, avviato negli anni Novanta, e - come questo - stimolerà la nascita di una nuova cultura della partecipazione. Ma se anche l'HEW è potenzialmente una rivoluzione dell'energia in grado di decentralizzarne e democratizzarne la produzione, ridefinendo le istituzioni economiche e sociali secondo linee del tutto nuove, non vi è alcuna garanzia che nella realtà riesca a farlo. Al riguardo, la storia di Internet e del World Wide Web è istruttiva. In Internet è implicita la promessa di abilitazione per miliardi di individui, ciascuno dei quali ha virtualmente la possibilità di accedere a tutti gli altri attraverso un meccanismo di comunicazione e scambio di informazioni realmente democratico. Negli anni Novanta i primi sostenitori della rete affermava-

no che l'informazione dovesse essere liberamente condivisibile. Per rendere reale questa visione, vennero create reti comunitarie *efree-net*, ma erano poche, deboli e troppo avarie di contenuti significativi per poter fronteggiare una campagna ben organizzata e riccamente finanziata per il controllo del nuovo medium, orchestrata da aziende come AOL e Microsoft. Fin dall'inizio, le forze economiche si sono coalizzate per impadronirsi dei portali del ciber-spazio, facendo sì che tali aziende diventassero custodi e arbitri dell'era dell'informazione. La rete energetica dell'idrogeno dovrà confrontarsi con opportunità e minacce analoghe.

Che l'idrogeno diventi realmente l'«energia del popolo» dipende in gran parte da come verrà sfruttato nelle prime fasi dello sviluppo tecnologico. Come già fecero i sostenitori della rete negli anni scorsi, una nuova generazione di attivisti sta cominciando ad affermare che l'energia dell'idrogeno deve essere condivisibile e condivisa. Perché ciò accada, è necessario che le istituzioni pubbliche e quelle no-profit - soprattutto le società energetiche pubbliche che forniscono energia a milioni di utenti e le migliaia di cooperative senza scopo di lucro, cui aderiscono oltre 750 milioni di persone nel mondo - si facciano avanti fin dai primi stadi dello sviluppo di questa rivoluzione energetica e contribuiscano a costituire in tutti i paesi associazioni per la generazione distribuita (DGA, Distributed Generation Associations).

Connettere l'intera umanità tramite le reti energetiche dell'idrogeno richiederà anche la partecipazione del settore privato. Saranno le aziende a sviluppare e produrre l'hardware e il software per la rivoluzione della generazione distribuita e ad avere un ruolo fondamentale nella creazione di pacchetti di servizi energetici e nel coordinamento dei flussi di energia nella HEW. Creare una partnership fra interessi economici e non economici sarà fondamentale per la legittimità, l'efficacia e la praticabilità a lungo termine del nuovo regime energetico.

Il passaggio a un'economia dell'idrogeno può porre fine alla dipendenza del mondo dall'importazione di petrolio e contribuire a diluire il pericoloso gioco geopolitico che mette a confronto, in Medio Oriente e nel resto del mondo, i militanti musulmani e le potenze occidentali. Ma è altrettanto importante notare come sottrarre il mondo al regime energetico basato sui combustibili fossili limiterebbe le emissioni di CO₂ a un livello solo doppio di quello dell'era preindustriale, mitigando gli effetti del surriscaldamento sulla già provata biosfera terrestre.

Infine, un regime energetico decentralizzato, fondato sull'idrogeno, offre la speranza di connettere chi non lo è e di abilitare chi è privo di ogni potere. Se questo accadesse, potremo davvero pensare a una reale possibilità di «ri-globalizzazione», questa volta partendo dal basso e con la partecipazione di tutti.

L'era dei combustibili fossili ha portato con sé nuovi modi di organizzare la società, attraverso istituzioni come l'impresa industriale, lo Stato-nazione, l'agglomerato urbano, lo stile di vita borghese. L'idrogeno, data la sua diversità dalle forme di energia ricavate dagli idrocarburi, imporrà un modello completamente nuovo di infrastruttura energetica, ma anche istituzioni economiche e insediamenti umani di vari tipi, esattamente come il carbone e il vapore prima e il petrolio e il motore a combustione interna poi, hanno fatto in passato. Se ogni essere umano sulla terra fosse il produttore dell'energia che consuma, cambierebbe radicalmente la natura stessa dell'attività economica, che diventerebbe più ampiamente diffusa. Questa dispersione, a sua volta, renderebbe possibile quella degli insediamenti umani. La centralizzazione del potere e le economie di scala, che hanno marcato così profondamente l'era degli idrocarburi, hanno portato fatalmente la popolazione umana a concentrarsi in grandi città e megalopoli che utilizzano enormi quantità di energia e sono diventate insostenibili. La creazione di reti energetiche decentralizzate dell'idrogeno, che connettono gli utenti finali, renderebbe possibili in-

sediamenti umani geograficamente più diffusi e sostenibili in rapporto alle risorse ambientali locali e regionali.

La rete energetica dell'idrogeno, come la rete globale delle telecomunicazioni, permetterà di connettere ogni uomo a ogni suo simile in una matrice sociale ed economica indivisibile e interdipendente, cosicché la specie umana potrà trasformarsi in una comunità perfettamente integrata nell'ecosistema terrestre. Purtroppo, ancor oggi i concetti di sicurezza personale e collettiva sono fondati su una visione del mondo ancorata ai combustibili fossili. Nell'era del petrolio, l'idea di sicurezza degli esseri umani rispecchia i valori organizzativi del più ampio sistema di riferimento istituzionale che gestisce il flusso dell'energia e l'attività economica. Autonomia e mobilità sono le virtù più socialmente apprezzate della nostra epoca, tanto a livello personale quanto istituzionale. Nell'era dell'idrogeno prossima ventura la densità delle interazioni umane e la velocità di coinvolgimento creeranno il presupposto per un nuovo concetto di sicurezza, legato sia all'integrazione in articolate reti economiche, sociali e ambientali sia all'interdipendenza globale. La nostra sicurezza e il benessere di svariate comunità umane, biologiche e geologiche del pianeta saranno una cosa sola. Giungeremo a considerarci parte di un unico organismo terrestre. La geopolitica disgregante, che tanto ha permeato l'era dei combustibili fossili, cederà il passo, nell'era dell'idrogeno, a un nuovo concetto di politica della biosfera.

Ci troviamo, oggi, all'inizio di una nuova epoca storica: tutte le strade sono ancora aperte. Il genio dell'uomo ha addomesticato l'idrogeno, la materia delle stelle e del sole, e ora può sfruttarlo per le proprie necessità. Tracciare la giusta rotta fin dall'inizio di questo viaggio è essenziale, se vogliamo che l'era dell'idrogeno diventi una realtà sostenibile per i nostri figli e un lascito prezioso per le generazioni a venire.

II

Scivolando lungo la curva di Hubbert

La crisi energetica degli anni Settanta è ormai un pallido ricordo. Oggi ci sembra di annegare nel petrolio. Nella primavera del 2002 i prezzi del greggio sui mercati mondiali hanno oscillato intorno ai 24 dollari al barile e i paesi dell'OPEC hanno stentato a mantenere la propria quota di mercato rispetto ai produttori non-OPEC (fra i quali Russia, Messico e Norvegia), cui fa capo una quota crescente del petrolio estratto nel mondo. Gli americani continuano a essere *on the road*, su milioni di automobili che consumano una benzina il cui prezzo cresce, per ora, a ritmi sopportabili. Di risparmio energetico - un tempo uno degli argomenti più in voga - ormai si sente parlare raramente, tanto negli Stati Uniti quanto negli altri paesi industriali.

I nostri leader politici affermano che, grazie alle nuove tecnologie di esplorazione e di trivellazione, stiamo trovando nuovi giacimenti di petrolio per rimpinguare le riserve e siamo in grado di sfruttare in modo più efficiente quelli esistenti. Secondo l'Energy Information Administration (EIA) dell'US Department of Energy, la produzione globale di petrolio convenzionale raggiungerà il picco fra circa trentacinque anni: un tempo sufficiente per pianificare la transizione a strategie energetiche alternative. In breve, se il mondo, negli anni a venire, dovrà affrontare j molti problemi, la carenza di petrolio non sarà certo fra questi. Ci viene costantemente ripetuto che le basi energetiche del nostro stile di vita industriale e postindustriale sono ancora solide.

Oggi, però, tanta apparente unanimità è scalfita dalla pubblicazione dei risultati di nuovi studi che rivelano una realtà assai diversa. Queste ricerche suggeriscono che la produzione globale di greggio - la linfa vitale dell'economia globale - potrebbe raggiungere il picco prima del 2010 e, comunque, non oltre il 2020. Questi studi, fortemente controversi, sono stati pubblicati sulle principali riviste scientifiche - incluse «Science» e «Scientific American» - e hanno innescato un acceso dibattito nella comunità dei geologi e negli uffici dirigenziali di alcune tra le maggiori società energetiche del mondo, ma non sono ancora stati diffusamente pubblicizzati dai media. I nostri politici e governanti sono ancora in massima parte ignari di tali risultati, e della medesima disinformazione soffrono gli economisti e i leader del mondo imprenditoriale. Eppure, se questi dati si rivelassero esatti, ci staremmo avvicinando rapidamente a una delle svolte più importanti nel cammino della civiltà umana, con conseguenze che possiamo solo vagamente immaginare.

Conti falsificati

Quando parlano di picco della produzione globale di petrolio, i geologi si riferiscono in primo luogo a quello comunemente definito petrolio convenzionale, o di qualità *light*, quello cioè che sgorga dai pozzi trivellati nel sottosuolo terrestre o marino, e che può essere facilmente trasformato in benzina e prodotti derivati. Esistono, peraltro, svariate qualità di petrolio: quello ricavato dalle sabbie bituminose o dagli scisti, quello «pesante», quello estratto da grandi profondità o in regioni polari - oltre ai gas naturali liquidi (NGL), ai gas convenzionali e non convenzionali.

Il petrolio è composto da materia organica, derivata per la maggior parte da vegetali planctonici fluttuanti (incline le alghe blu e verdi) e da animali planctonici unicellulari che vivevano in ambiente marino.⁴ Le acque stagnanti hanno preservato dall'ossidazione le scorie organiche de-

positate sui fondo di mari e laghi. Moltissimi giacimenti petroliferi si sono formati nel tardo Giurassico, oltre 150 milioni di anni fa, nelle regioni tropicali in prossimità dell'equatore. Con i movimenti delle placche tettoniche, i sedimenti originari sono migrati verso nord e verso est, fino al Medio Oriente, al Mare del Nord, alla Siberia e ad altre aree boreali. I giacimenti petroliferi degli Stati Uniti risalgono invece al Permiano (250 milioni di anni fa) e quelli del Venezuela al Cretacico (90 milioni di anni fa).

I geologi concordano nell'affermare che dalle viscere della terra siano stati estratti finora 875 miliardi di barili di petrolio (Gbo, *Giga barrels of oil*): la quasi totalità negli ultimi centoquarant'anni, corrispondenti all'era industriale. Ciò su cui le loro opinioni non collimano è l'esatta quantità di petrolio ancora estraibile (vale la pena sottolineare che, per quanto oggetto di feroci dispute fra gli esperti, i dati sono compresi in una fascia di oscillazione molto ristretta). Gran parte della controversia può essere fatta risalire alle diverse interpretazioni date al termine «riserve».

In primo luogo, tecnici e geologi distinguono fra «riserve» e «risorse». Le prime sono la quantità di petrolio conosciuta presente nei giacimenti ed estraibile con le tecnologie attuali, in un lasso di tempo prevedibile e a un costo ragionevole. Le seconde, invece, rappresentano la stima teorica della quantità totale di petrolio che potrebbe esistere in una determinata regione, inclusa quella che non può essere estratta o raffinata a condizioni vantaggiose, date le tecnologie oggi disponibili e l'attuale situazione del mercato. A complicare le cose, gli esperti del settore ricorrono a una miriade di altri termini per definire le riserve: «attive», «inattive», «probabili», «possibili», «stimate», «identificate», «non scoperte».

Il geologo Jean H. Laherrère afferma che tale proliferazione di aggettivi qualificativi è intenzionale, appositamente studiata per permettere alle nazioni e alle società energetiche di falsificare le cifre - in una sorta di contabilità geologica creativa - a fini politici ed economici. Laherrère

punta il dito contro quegli «interessi costituiti che ricorrono a definizioni e interpretazioni forzate per produrre cifre che soddisfino i loro obiettivi politici. Se il petrolio è denaro, le riserve sono, per così dire, i risparmi depositati in banca: una banca sotterranea, di cui non è possibile verificare la contabilità».

Gli scisti petroliferi sono un buon esempio di questa «contabilità creativa». Il governo di Washington cita spesso l'esistenza di «risorse» di scisti petroliferi sufficienti a produrre 2000 Gbo, dando l'impressione di disporre di ampie «riserve» di combustibili fossili sufficienti a garantire l'indipendenza energetica del paese. Dagli scisti petroliferi, però, non è stato ancora estratto un solo barile di petrolio a condizioni economicamente convenienti. Si tratta quindi di una risorsa, non di una riserva.

Ai fini della presente trattazione i dati che è necessario conoscere sono tre: la produzione complessiva (la quantità di petrolio convenzionale estratto globalmente fino a oggi), una stima delle riserve petrolifere e una proiezione dei giacimenti di petrolio convenzionale ancora da individuare. La somma di questi tre fattori rappresenta la quantità totale di petrolio effettivamente sfruttabile.

Come detto, il petrolio si trova in bacini sotterranei ove si è accumulata una grande quantità di materiale organico. I geologi hanno già individuato seicento di questi bacini in bassi fondali costieri e sulla terraferma, ma si ritiene che ve ne siano altri. In ogni caso, quattrocento sono già stati esplorati, mentre l'esplorazione dei rimanenti duecento è difficile e costosa, poiché sono situati in zone remote come la Groenlandia, o negli abissi marini prospicienti il Brasile, in Africa occidentale e nel golfo del Messico. Solo in centoventicinque bacini sono stati trovati notevoli quantitativi di petrolio.

Per determinare le riserve di petrolio ancora da scoprire, i geologi adottano tradizionalmente il seguente metodo: dapprima calcolano quanto petrolio è stato estratto dai quattrocento bacini attualmente sfruttati e valutano in

chilometri cubi la quantità di sedimento in cui il petrolio era contenuto, quindi, dopo aver diviso questi due dati e stabilito quanto petrolio può essere estratto in media da un chilometro cubo di sedimento, moltiplicano il volume di sedimento presente in ogni bacino del mondo per la resa media di petrolio per unità di sedimento. Oggi, grazie a modelli geochimici altamente sofisticati, è possibile giungere a una stima ragionevolmente accurata della quantità di petrolio ancora da scoprire.

Gli Stati Uniti (o, meglio, i quarantotto Stati continentali), che si valuta abbiano 195 Gbo di riserve conosciute, ne hanno già estratti 169; rimangono, dunque, riserve certe per soli 20 Gbo e da scoprire per circa 6. L'Arabia Saudita, in confronto, ha riserve economicamente sfruttabili per 300 Gbo e, avendone estratti solo 91, ha riserve certe per 194 Gbo e da scoprire per 14,3. La Russia ha riserve sfruttabili per circa 200 Gbo e, avendone estratti 121, dispone di riserve certe per 66 Gbo e da scoprire per 13. Dunque, agli Stati Uniti resta unicamente il 14% delle proprie originarie riserve di petrolio, alla Russia il 39 e all'Arabia Saudita il 70.

Sfortunatamente, secondo un coro di scettici sempre più nutrito, le cifre del petrolio riportate dalla letteratura ufficiale sono sospette, e non tanto perché non si disponga delle conoscenze necessarie per giungere a una stima più accurata, quanto perché, come suggerisce Laherrère, molte nazioni falsificano i conti per gonfiarli.

Secondo l'US Geological Survey (USGS), le riserve stimate (EUR) sono pari a 3003 Gbo, ma alcuni nuovi modelli computerizzati suggeriscono che i dati reali corrispondano soltanto ai due terzi di quelli forniti dall'USGS. La differenza fra le due stime, benché di scarsa importanza se considerata nel contesto della storia dell'uomo o in quello ancor più vasto della storia geologica, diventa di un certo rilievo sul terreno della geopolitica, ove l'effetto del cambiamento si misura in anni o decenni. Usando la stima di 3003 Gbo dell'USGS, e ipotizzando una crescita media annua del fabbisogno del 2%, l'EIA prevede che la

produzione mondiale di petrolio raggiungerà il picco nel 2037. Tuttavia, se risultassero esatti i nuovi modelli di calcolo, il momento in cui la produzione mondiale di petrolio raggiungerà il picco verrebbe a cadere in un intervallo compreso fra gli otto e i diciotto anni da oggi. (Perfino le analisi dell'EIA, basate sui dati delle riserve stimate calcolati dall'USGS, riconoscono che il picco può essere raggiunto già nel 2016, se si operano lievi variazioni degli assunti nella costruzione del modello.) Ma se le diverse opinioni riflettono legittime differenze di interpretazione dei dati, resta fondamentale stabilire in che misura le cifre ufficiali abbiano subito pressioni politiche ed economiche. Cerchiamone le prove.

I dati sulle riserve petrolifere vengono pubblicati annualmente dall'«Oil and Gas Journal» e da «World Oil», due riviste di settore che riportano le cifre ufficiali di tutti i paesi produttori senza poterle in alcun modo verificare. Il risultato è un guazzabuglio di numeri, spesso fuorviante.

Per esempio, i geologi sono soliti assegnare alle proprie valutazioni delle riserve sfruttabili una percentuale di probabilità. Il geologo Colin J. Campbell cita il caso del giacimento Oseberg, in Norvegia, per il quale gli ingegneri petroliferi stimano al 90% la probabilità che il rendimento sia di 700 milioni di barili, ma solo al 10 quella che se ne possano aggiungere altri 2500. Il valore più contenuto è detto stima P₁₀, quello più generoso stima P₉₀. Negli Stati Uniti la Securities and Exchange Commission (SEC), autorità di vigilanza sulle società e la Borsa, permette alle aziende petrolifere di dichiarare riserve solo «se il greggio si trova nei pressi di un pozzo attivo ed esiste la ragionevole certezza" che possa essere estratto economicamente, dati i prezzi correnti del petrolio e le tecnologie disponibili». Questa definizione corrisponde alla stima P₁₀. Ora, Campbell e Laherrère sostengono che tale stima sia troppo restrittiva e porti spesso a sottovalutare la quantità di petrolio che sarà effettivamente estratta nel corso della vita del giacimento. Ritengono più accurata una valutazione intermedia, detta

stima «provata e probabile» o stima P_1 , per determinare «il numero di barili di greggio che ha la stessa probabilità di essere prodotto o non prodotto da un pozzo nel corso della sua vita produttiva, ipotizzando che i prezzi del petrolio oscillino in un range ristretto».

Se gli Stati Uniti tendono a sottostimare le riserve certe, ricorrendo alla stima P_1 , paesi come quelli dell'ex Unione Sovietica hanno pesantemente sovrastimato le proprie, utilizzando la stima P_2 . Il governo russo gonfia abitualmente le riserve, aggiungendo quelle geologiche - ovvero quelle esistenti *in situ* - a quelle «economicamente sfruttabili». La differenza fra realtà e fantasia può essere così grande da risultare assurda. Nel 1996 «World Oil» attribuì all'ex Unione Sovietica EUR per 190 Gbo, mentre nello stesso anno «The Oil and Gas Journal» ne valutò le riserve certe in 57.

Secondo alcuni osservatori, i paesi OPEC gonfiano le cifre per poter aumentare le proprie quote di produzione e offrire garanzie a fronte di prestiti internazionali concessi da istituzioni come la Banca mondiale e il Fondo monetario internazionale (FMI), o per ottenere condizioni migliori sui prestiti concessi da istituzioni bancarie private a fronte di progetti di sviluppo infrastrutturale e produttivo. Le società energetiche lo fanno invece per sostenere la quotazione dei propri titoli in Borsa.

Per avere l'esatta misura di quanto la contabilità del petrolio possa essere manipolata, si consideri il fatto che, a metà degli anni Ottanta, le riserve certe di greggio rilevate a livello globale erano comprese fra i 650 e i 700 Gbo. Nei primi anni Novanta queste stime erano aumentate di 300 Gbo, un terzo delle riserve mondiali, benché non fosse stato scoperto alcun nuovo giacimento di un certo rilievo. La quasi totalità di questo aumento era dovuta ai paesi OPEC: l'Arabia Saudita, le cui riserve certe avevano sempre oscillato fra i 163 e i 170 Gbo, nel 1990 balzò improvvisamente a 257,5; il Kuwait, fra il 1984 e il 1985, da 63,9 a 90, con un incremento di 26,1 Gbo; fra il 1987 e il 1988 le riserve certe

dell'Iraq più che raddoppiarono, passando da 47,1 a 100 Gbo; l'Iran passò dai 48,8 Gbo del 1987 ai 92,9 dell'anno successivo. Nel 1988 Abu Dhabi e Dubai dichiararono r³ serve certe triplicate. In un solo anno, il 1988, le riserve certe di tre dei maggiori paesi produttori di petrolio risultarono il doppio di quelle rilevate soltanto un anno prima. È vero che le prime stime erano, probabilmente, troppo basse ed era necessario rivederle, dal momento che molte compagnie petrolifere, per pagare meno tasse, tendono a usare la massima cautela nel dichiarare l'entità dei nuovi giacimenti scoperti, ma l'incredibile aumento delle riserve dichiarate alla metà degli anni Ottanta è di gran lunga superiore a quello che potrebbe essere giustificato dall'aggiornamento dei dati sottostimati dalle compagnie.

Negli anni Novanta, ad aggravare l'imbroglio, le società petrolifere hanno dichiarato di aver scoperto nuovi giacimenti per una media di 7 Gbo l'anno, ma hanno estratto petrolio a un ritmo tre volte superiore. Eppure, per tutto quel decennio, oltre la metà dei paesi presi in esame dal *report* annuale dell'«Oil and Gas Journal» hanno affermato di disporre di riserve inalterate rispetto all'anno precedente. Nel 1997, cinquantanove nazioni produttrici di petrolio hanno dichiarato riserve identiche a quelle dell'anno precedente, benché nei giacimenti aperti fosse continuata l'attività estrattiva e, nel frattempo, fossero stati scoperti alcuni nuovi giacimenti. Nel 1999 il numero dei paesi che dichiaravano riserve inalterate era salito a settanta.

Alla prova dei fatti

Dunque, quanto greggio a buon mercato, pronto per essere estratto, è ancora disponibile? Alla fine degli anni Sessanta, con l'introduzione dei metodi sismici digitali a 3-D, i geologi sono riusciti a individuare, con sempre maggior precisione, i nuovi giacimenti petroliferi. Negli anni Settanta e Ottanta l'esplorazione globale alla ricerca di petrolio si è notevolmente intensificata, in conseguenza della

guerra arabo-israeliana e del successivo embargo petrolifero dei paesi OPEC e, più tardi, del conflitto fra Iran e Iraq che ha fatto lievitare i prezzi fin oltre i 40 dollari al barile. Gli Stati Uniti e gli altri paesi industriali, nonché le società petrolifere multinazionali, temendo una crescente dipendenza dal greggio mediorientale erano determinati a trovare fonti di approvvigionamento alternative. Nei soli Stati Uniti, fra il 1973 e il 1981, il numero delle trivellazioni esplorative e di sviluppo è salito da 28.000 a 90.000. Eppure, malgrado questo sforzo titanico, nel medesimo periodo le riserve certe dei quarantotto Stati meridionali sono scese dai 25 Gbo del 1973 ai 20 del 1986, e la produzione di greggio è calata del 24%.

Risultati altrettanto deludenti sono stati registrati in tutto il mondo. Oggi i geologi sono ragionevolmente convinti che la maggior parte dei grandi giacimenti fosse già stata scoperta prima della nuova ondata di esplorazioni. Dubbia si è rivelata anche la tradizionale argomentazione degli economisti secondo la quale l'aumento del prezzo del greggio avrebbe incentivato le esplorazioni, portando alla scoperta di nuovi, significativi giacimenti.

Oggi, nel mondo, ci sono millecinquecento giacimenti di grandi o grandissime dimensioni, che raccolgono il 94% delle riserve conosciute di petrolio greggio. I quattrocento pozzi maggiori contengono fra il 60 e il 70% del totale. Di questi, solo quarantuno sono stati scoperti dopo il 1980. Secondo Campbell, dell'Oil Depletion Analysis Center (ODAC) di Londra, si può concludere che «allo stato attuale, il mondo è stato completamente esplorato, ed è chiaro che, in attesa di essere scoperte, non ci sono nuove regioni paragonabili al Mare del Nord o all'Alaska». L'USGS concorda e riferisce che, a livello globale, la scoperta di nuovi giacimenti ha raggiunto il culmine nel 1962 e, da allora, non ha fatto che declinare. L'età dell'oro è passata. Ciò non significa che non si troveranno più giacimenti minori, ma solo che le nuove scoperte non saranno in grado di compensare la continua erosione delle riserve certe mondiali.³²

Queste non sono certamente buone notizie, soprattutto se si pensa che la domanda mondiale di greggio è di 24 Gbo l'anno, e in costante crescita, a fronte di una scoperta di nuovi giacimenti che apportano annualmente meno di 12 Gbo economicamente sfruttabili, una media che peraltro, con il passare del tempo, si ritiene destinata a ridursi. In altre parole, stiamo consumando 2 barili di greggio convenzionale per ogni barile di greggio scoperto.

Sebbene capi di Stato, politici ed economisti di tutto il mondo occidentale continuino a parlare entusiasticamente di incremento della produzione petrolifera nei giacimenti esistenti al di fuori del Medio Oriente, la verità è che negli ultimi vent'anni l'andamento della produzione non-OPEC ha già cominciato a mostrare segni di cedimento. Negli anni Ottanta e Novanta, gran parte del nuovo petrolio proveniva dai giacimenti del Mare del Nord. L'Energy Intelligence Group stima che la produzione del Mare del Nord dovrebbe raggiungere il picco entro la fine del 2002, a 6,77 milioni di barili. Il Mar Caspio è un'altra delle regioni in cui i geologi e le società petrolifere avevano sperato di trovare una nuova abbondanza, una sorta di nuovo Golfo Persico in miniatura. In realtà, le riserve della regione assommano approssimativamente a 50 Gbo, più o meno quanto il Mare del Nord, e ci si aspetta che la produzione possa raggiungere il picco nel 2010. Nel frattempo le compagnie petrolifere russe stanno febbrilmente costruendo raffinerie e oleodotti, inondando di petrolio i mercati internazionali, e questo ha l'effetto di deprimere il prezzo mondiale e prosciugare le riserve del paese.

Come quelli del Mar Nero e del Caspio, i giacimenti dell'Alaska sono soggetti a una grande speculazione da parte di petrolieri, economisti specializzati in risorse e leader politici. L'amministrazione Bush è stata particolarmente rapida nell'aprire l'Arctic National Wildlife Refuge (ANWR) - un habitat selvaggio incontaminato, tutelato per legge da ogni forma di sfruttamento economico - all'esplorazione petrolifera. La quantità aggiuntiva di pe-

trolio che potrebbe sgorgare dalla regione, però, è talmente limitata da poter essere considerata irrilevante rispetto alla soluzione del problema dell'indipendenza energetica degli Stati Uniti.

L'USGS stima che nel sottosuolo dell'ANWR vi siano 20,7 Gbo sfruttabili, ma con le tecnologie attuali la quantità effettivamente utilizzabile è di gran lunga inferiore: al massimo, 7,7 Gbo. E la quantità di petrolio economicamente producibile - ovvero estraibile a un costo di 20 dollari al barile - è ancor più bassa: 3 Gbo. Ciò significa che, ai tassi di consumo attuali, le riserve tecnicamente estraibili coprirebbero il fabbisogno di 390 giorni di petrolio convenzionale, mentre le riserve economicamente producibili quello di soli 152 giorni. L'EIA prevede che entro il 2020 l'ANWR potrebbe garantire 1,4 milioni di barili al giorno. Ma, con l'aspettativa che nel 2020 la produzione mondiale di greggio si assesti intorno ai 112-120 milioni di barili al giorno, l'ANWR contribuirebbe solo per l'1% dell'offerta mondiale.

Recentemente Franco Bernabè, già economista presso l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) con sede a Parigi e amministratore delegato della compagnia petrolifera italiana ENI, ha analizzato i dati delle 200 principali compagnie petrolifere non-OPEC e ha scoperto che, fra il 1980 e il 1997, il tasso riserve/produzione è diminuito da 18 a 12 anni. Sono pessime notizie per il futuro della produzione non-OPEC. Bernabè conclude, infatti, che «anche limitandosi a mantenere questo tasso, con l'attuale incremento medio annuo del 2,5% della produzione mondiale, questo gruppo dovrebbe sostituire il 140% delle proprie riserve nei prossimi cinque anni»: un'eventualità praticamente impossibile.

La diminuzione delle nuove scoperte e l'esaurimento delle riserve certe diventano ancor più significativi alla luce delle stime di crescita della domanda mondiale di petrolio per i prossimi due decenni. Con un aumento previsto della popolazione mondiale da 6,5 a 7,7 miliardi di individui entro il 2020, la pressione sulle riserve petrolifere

è destinata ad aumentare. L'incremento demografico determinerà un'accelerazione del processo di urbanizzazione, che comporterà una maggior domanda di petrolio per trasporti, riscaldamento, elettricità e produzione agricola e industriale. Il fabbisogno di energia della popolazione eserciterà una pressione senza precedenti sulle residue riserve mondiali di greggio.

È illusorio perfino supporre che la popolazione in crescita dei paesi in via di sviluppo possa mai raggiungere i livelli di consumo di petrolio pro capite degli Stati Uniti durante l'epoca d'oro. Se la Cina giungesse a utilizzare la stessa quantità di petrolio consumata pro capite negli Stati Uniti per mantenere lo stile di vita occidentale, necessiterebbe di 81 milioni di barili di greggio al giorno, dieci in più della produzione mondiale complessiva nel 1997. Ma, secondo la rivista «Fortune», se Cina e India aumentassero il proprio fabbisogno pro capite ai livelli attuali della Corea del Sud, «questi due paesi da soli necessiterebbero di 119 milioni di barili di greggio al giorno, circa il doppio dell'intera domanda mondiale attuale». Questo significa quasi il 50% in più della domanda mondiale totale del 2000.

Cina e India sono gli araldi della grande trasformazione in atto nei paesi in via di sviluppo, che si stanno industrializzando, urbanizzando e modernizzando, nel tentativo di raggiungere il tenore di vita di cui godono i paesi industriali occidentali: hanno bisogno di petrolio e, dato che questo sta diventando una risorsa sempre più scarsa, si troveranno ben presto bloccati da una feroce concorrenza con i paesi industriali del Nord per l'accesso alle riserve residue. Sulle colonne dell'«Economist» l'ex giornalista economico Edward Carr ha fatto la seguente previsione:

Entro il 2010 la quota del totale dei consumi energetici a carico dei paesi ricchi sarà scesa al di sotto del 50% per la prima volta nell'era industriale ... Fra il 2000 e il 2010 la crescita del consumo energetico dei paesi in via di sviluppo supererà l'attuale fabbisogno dell'Europa occidentale.⁴⁴

La crescente domanda di petrolio, da parte sia dei paesi industrializzati sia di quelli in via di sviluppo, sarà probabilmente il fattore critico nella lotta geopolitica durante il primo quarto del ventunesimo secolo. Le proiezioni dell'EIA sulla domanda globale di petrolio rivelano quanto difficili siano i tempi che si stanno preparando. Secondo l'agenzia governativa americana, entro il 2020 la domanda mondiale di petrolio passerà da 80 milioni di barili al giorno a 120, vale a dire un aumento del 50% in meno di vent'anni. Trovare ed estrarre questi 40 milioni di barili in più al giorno sarà quantomeno arduo.

Si deve sottolineare che la questione non è se stiamo esaurendo il petrolio, ma se stiamo effettivamente raggiungendo il picco della produzione petrolifera, il lubrificante dei progressi industriali del ventesimo secolo. È su questo punto, infatti, che le opinioni degli esperti divergono.

Ora, è interessante notare come la maggior parte delle indagini geologiche condotte negli ultimi cinquant'anni sia stata notevolmente concorde nelle stime delle riserve EUR globali di petrolio. James J. MacKenzie - membro anziano dello staff per l'energia del Presidente Council on Environmental Quality (CEQ) dal 1977 al 1981 e attualmente *senior associate* del Program on Climate, Energy and Pollution del World Resources Institute -⁴⁶scrive che la maggior parte di questi studi riflette l'unanimità degli esperti del settore circa il fatto che «le riserve EUR di petrolio siano comprese fra 1800 e 2200 Gbo». Il mondo ha già consumato più di 875 Gbo del totale. Come detto, le più recenti stime dell'USGS sulle riserve EUR si collocano un po' più in alto delle precedenti, cioè a 3000 Gbo. Questa proiezione ottimistica si fonda, in parte, sulla convinzione che l'ex Unione Sovietica, il Medio Oriente, la piattaforma continentale della Groenlandia e i delta del Niger e del Congo in Africa dispongano di cospicue riserve potenziali non ancora esplorate.⁴⁷ Altrettanto ottimista è John Edwards, dell'University of Colorado. Le sue proiezioni aggiungono alla somma totale delle riserve EUR an-

che petroli non convenzionali, come quello pesante del Venezuela e le sabbie bituminose del Canada, oltre alla possibile conversione del 20% delle riserve di gas naturale in gas⁴⁸ liquidi. Ricorrendo a un'interpretazione estensiva del significato della sigla EUR, Edwards prevede il picco della produzione petrolifera mondiale fra il 2030 e il 2040; considerando solo il petrolio convenzionale, invece, fra il 2020 e il 2030.⁴⁹ ⁵⁰

Campbell e Laherrère, però, sono più propensi a una stima inferiore, valutando le riserve EUR di petrolio convenzionale a soli 1800 Gbo. Secondo loro, i paesi produttori di petrolio - soprattutto i paesi OPEC e la Russia - avrebbero gonfiato a fini politici le cifre delle proprie riserve e altrettanto avrebbero fatto le società energetiche per aumentare il valore del proprio patrimonio. Campbell e Laherrère non sono i soli a nutrire tale convinzione: un numero crescente di emeriti geologi sta pubblicando nuovi studi basati su modelli computerizzati, con risultati assai diversi da quelli di dominio pubblico.

Queste nuove ricerche suggeriscono che la produzione globale di petrolio raggiungerà il picco fra il 2010 e il 2020 (secondo alcuni, addirittura prima del 2010). In altre parole, in quell'arco di tempo metà delle riserve EUR del pianeta sarà stata consumata. Una volta che la produzione avrà raggiunto il picco, i prezzi del petrolio cominceranno a crescere inarrestabilmente, mentre nazioni, aziende e consumatori faranno a gara per procurarsi la rimanente metà delle riserve. Diversamente dalle prime crisi petrolifere degli anni Settanta e Ottanta, indotte da decisioni politiche, questa sarà provocata da una carenza reale: ogni anno nel mondo ci sarà meno greggio disponibile; la diminuzione della disponibilità di greggio a buon mercato e la crescita della popolazione, soprattutto nel Terzo Mondo, creeranno nuove, pericolose tensioni.

La metodologia di modellizzazione cui ci si affida per elaborare queste stime è detta «curva di Hubbert». M. King Hubbert era un geofisico che lavorava per la Shell Oil Com-

pany. Nel 1956 pubblicò quello che è diventato un famoso saggio, in cui prevedeva il picco e il declino della produzione petrolifera nei quarantotto Stati continentali (esclusa l'Alaska). Sulla base del volume e del tasso di produzione precedenti, calcolò che la produzione statunitense di petrolio avrebbe raggiunto il picco fra il 1965 e il 1970. Poiché, all'epoca in cui Hubbert formulava questa previsione, l'America produceva quantitativi record di petrolio, la maggior parte dei geologi e dei manager delle compagnie petrolifere si fecero beffe di queste previsioni e misero in ridicolo l'autore e le sue tesi. Con loro grande sorpresa, le previsioni di Hubbert si rivelarono fondate: la produzione raggiunse il picco nel 1970 e cominciò a declinare costantemente. Gli Stati Uniti persero la posizione di leader della produzione mondiale e, da allora, tale cambiamento influenzò gran parte della geopolitica mondiale.

La tesi di Hubbert è elegante nella sua semplicità. Egli afferma che la produzione petrolifera, partendo da zero, aumenta, raggiunge il picco quando è stata estratta la metà delle riserve sfruttabili stimate, poi cala, seguendo una distribuzione gaussiana, rappresentata da una curva a forma di campana. L'estrazione di petrolio comincia lentamente, quindi accelera rapidamente con la localizzazione dei pozzi. Dopo che i pozzi maggiori sono stati individuati e coltivati, la produzione comincia a rallentare; l'individuazione dei pozzi minori diventa più difficoltosa; i costi di estrazione e raffinazione aumentano. Nello stesso tempo, con il progressivo esaurimento dei pozzi maggiori, diventa più difficile pompare in superficie il petrolio residuo: al getto iniziale subentra il posto a un flusso sempre più modesto. La combinazione del minor tasso di scoperte e del declino dell'estrazione da un determinato giacimento ha come effetto il picco della produzione. Il vertice della curva a campana rappresenta il punto medio, quello in cui la metà delle riserve certe sfruttabili sono già state estratte. Da quel punto in avanti, nella parte decrescente della curva, la produzione declina con la stessa rapidità con cui è cresciuta.

Un'analisi più attenta della curva di Hubbert rivela un aspetto fondamentale, di grande rilevanza per quel che ci potrebbe attendere. Hubbert osservò che erano occorsi centodieci anni - dal 1859 al 1969 - per produrre 227 miliardi di barili di greggio, la cui prima metà in cento anni e la seconda in meno di dieci, dal 1959 al 1969. Utilizzando il medesimo modello, nel 1971 Hubbert stimò che l'80% della produzione mondiale del petrolio residuo si sarebbe concentrata in un periodo compreso fra i cinquantasei e i sessantaquattro anni: meno della vita umana media.

Cassandra contro ottimisti

Per prevedere il picco della produzione globale, i geologi hanno combinato la curva di Hubbert con metodi matematici di modellizzazione. Campbell e Laherrère hanno innescato l'attuale dibattito sul picco della produzione globale di petrolio con un lungo e circostanziato articolo apparso su «Scientific American» nel marzo del 1998. Campbell ha ottenuto un PhD in geologia all'University of Oxford, lavorando poi per Texaco come geologo esplorativo e, in seguito, per Amoco, come geologo capo in Ecuador. Più tardi, è diventato *exploration manager* per Amoco in Norvegia, e vicepresidente esecutivo di Fina, sempre in Norvegia. Laherrère ha lavorato per Total, la compagnia petrolifera francese, per la quale è stato supervisore mondiale delle tecniche esplorative: le sue ricerche hanno condotto alla scoperta dei maggiori giacimenti africani. Campbell e Laherrère sono stati per anni partner di Petroconsultant, una società di consulenza per la gestione dei database nel settore petrolifero, con sede a Ginevra.

50

Le analisi di Campbell e Laherrère si fondano su un database di Petroconsultant relativo a 18.000 pozzi di petrolio nel mondo. Secondo questi dati, le riserve mondiali P del 1996 erano di soli 850 Gbo: un dato significativamente più basso dei 1019 Gbo riferiti dall'«Oil and Gas Journal» e dei 1160 riportati da «World Oil». Ammettendo la scoperta di

altri 150 Gbo, Campbell e Laherrère stimano che il settore petrolifero sarà in grado di estrarre complessivamente ancora 1000 miliardi di barili di greggio convenzionale. Questo rappresenta un quantitativo superiore rispetto agli 875 Gbo già prodotti. I produttori non-OPEC raggiungeranno il picco prima del 2010, mentre i cinque principali paesi OPEC del Medio Oriente - Arabia Saudita, Kuwait, Iraq, Iran e Abu Dhabi - lo raggiungeranno probabilmente nel 2015. Sulla base dei dati cumulativi e della modellizzazione computerizzata, i due geologi prevedono il picco della produzione petrolifera globale intorno al 2010.

Altri geologi concordano con le valutazioni di Campbell e Laherrère. L.F. (Buz) Ivanhoe è un geologo petrolifero, già consulente specializzato nella valutazione dei bacini petroliferi per conto di Occidental Petroleum. Ivanhoe ritiene che l'offerta globale di petrolio comincerà a non soddisfare più la domanda mondiale intorno al 2010 e, da quel momento, la produzione diminuirà rapidamente, al ritmo del 3% l'anno. Quando la produzione raggiungerà il picco, intorno al 2010, secondo Ivanhoe ci si dovrà aspettare un'impennata del prezzo del greggio e degli altri combustibili, associata a fenomeni di iperinflazione. Egli avverte che un'è carenza di greggio in misura del 5% a livello globale «porterebbe al formarsi di code ai distributori, come negli anni Settanta... ma questa volta il fenomeno sarebbe permanente».

Craig Hatfield, geologo presso l'University of Toledo, pur utilizzando come base una stima di 1550 Gbo (un dato del 55% più elevato di quello utilizzato da Campbell e Laherrère), perviene a conclusioni analoghe sul momento in cui verrà raggiunto il picco della produzione mondiale di greggio. Hatfield parte da una base di 1000 Gbo di riserve globali accertate - 150 Gbo in più delle stime di Campbell e Laherrère - pur riconoscendo di rischiare un eccesso di ottimismo, dato che alcune fra le riserve dichiarate possono essere frutto di calcoli di convenienza politica. Procedo poi con lo stimare in 550 Gbo la quantità di petrolio ancora da scoprire (anche in questo caso la sua valutazione è nettamente supe-

riore a quella di Campbell e Laherrère). Combinando i due dati, Hatfield teorizza la disponibilità di 1550 Gbo ancora da estrarre, che, sommati agli oltre 800 già estratti, danno un totale di 2350 Gbo di riserve certe sfruttabili.

Hatfield conclude che, se si ipotizza una domanda globale di petrolio in aumento stabile del 2% l'anno, il mondo avrà consumato la metà delle proprie riserve petrolifere globali prima del 2010. Questa data potrebbe slittare di molti anni se i paesi OPEC decidessero di contingentare la produzione, come hanno fatto in passato, per mantenere alti i prezzi sul mercato mondiale. j

MacKenzie afferma che, anche ipotizzando che le riserve sfruttabili di petrolio corrispondessero complessivamente a 2600 Gbo, la più alta fra tutte le stime accreditate, il picco della produzione petrolifera non potrebbe andare oltre l'anno 2019.⁵⁹

Nel dibattito sono intervenuti molti altri. Franco Bernabè ritiene che il picco della produzione globale di petrolio potrà essere raggiunto nella prima decade del ventunesimo secolo, creando una crisi petrolifera analoga a quella degli anni Settanta del secolo scorso. Kenneth S. Deffeyes, professore emerito alla Princeton University ed ex pioniere delle esplorazioni petrolifere presso la Shell Oil Research di Houston (Texas), afferma che, a seconda del metodo di Hubbert utilizzato (Deffeyes fu uno dei suoi collaboratori), il picco della produzione globale di petrolio potrà essere raggiunto già nel 2003 o al massimo nel 2009.

Deffeyes, che ha basato i propri calcoli su una stima approssimativa di 2100 Gbo di riserve economicamente sfruttabili, aggiunge:

Nessuna iniziativa che venisse messa in atto a partire da oggi potrebbe avere un effetto rilevante sulla data in cui si raggiungerà il picco della produzione. Nessuna esplorazione nell'area del Caspio, nessuna trivellazione nel Mare Cinese Meridionale, nessuna sostituzione dei SUV, nessun progetto di energia rinnovabile possono essere fatti progredire a un ritmo sufficientemente rapido da evitare una guerra al rialzo per accaparrarsi le ultime riserve di petrolio.⁶²

Deffeyes, evidentemente preoccupato per le conseguenze internazionali di un anticipato picco della produzione petrolifera mondiale, avverte: «Speriamo che questa guerra si combatta a colpi di risorse finanziarie, non di testate nucleari».

L'International Energy Agency dell'OCSE stima che, da oggi al 2020, la domanda globale di energia possa crescere fin del 57%, e che la produzione globale di petrolio convenzionale possa raggiungere il picco nella seconda decade del ventunesimo secolo.

Gli esperti sono nettamente divisi in due schieramenti: quelli che ritengono che la produzione di petrolio convenzionale toccherà probabilmente il picco fra ventotto o trentotto anni e quelli che sono convinti che ciò possa avvenire prima, fra otto o diciotto anni. Vale la pena sottolineare ancora una volta che le previsioni ottimistiche e quelle pessimistiche sul momento in cui la produzione globale di petrolio arriverà al picco differiscono da un minimo di dieci a un massimo di trent'anni: un arco temporale modesto, se considerato in una prospettiva storica. Sebbene entrambi gli schieramenti ritengano che l'era del petrolio a buon mercato stia volgendo al termine, la differenza di valutazione sui tempi è fondamentale per determinare le priorità in termini sia di scelte energetiche sia di iniziative politiche ed economiche.

Gli ottimisti replicano ai pessimisti con modelli computerizzati, in base ai quali sostengono che non è vero che tutti i giacimenti significativi siano già stati scoperti - portando come esempi il grande giacimento scoperto al largo della costa dell'Africa occidentale dalla società francese Elf (il primo dopo molti anni) e i due nuovi immensi giacimenti rinvenuti in⁶⁵ Kazakistan e in Iran - e nutrono la speranza che altri nuovi giacimenti possano fornire 5 Gbo in più all'anno, dimezzando il divario fra offerta globale e domanda globale nel 2010. Per esempio, l'USGS stima che nell'ex Unione Sovietica ci siano 100 Gbo ancora da scoprire; lo stesso ente americano è ugualmente ottimista nelle proiezioni relative

alla scoperta di nuovi giacimenti in Medio Oriente e sulle coste atlantiche meridionali dell'Africa e del Sudamerica.

Secondo Campbell, si tratta di cifre eccessivamente ottimistiche in quanto, sulla base dei dati attualmente disponibili, la quantità di riserve certe sfruttabili di petrolio convenzionale ancora da scoprire nel sottosuolo dell'ex Unione Sovietica ammonterebbe solo a due terzi del totale previsto dall'USGS. Per quanto riguarda la possibilità di trovare altri grandi giacimenti, come quello al largo della costa atlantica africana, anche i più pessimisti ammettono che ci potrebbero ancora essere alcuni giacimenti significativi da scoprire, ma ritengono che la probabilità di individuarne altri importanti quanto quelli del Kuwait e dell'Arabia Saudita sia estremamente bassa. «La quantità di petrolio nascosta nelle viscere della terra è definita» afferma Campbell «e l'industria ne ha già scoperto circa il 90%.»

Nella maggior parte dei casi, gli ottimisti fondano le proprie speranze più sulle nuove tecnologie di estrazione, per uno sfruttamento intensivo dei giacimenti esistenti, che sulla prospettiva di individuarne di nuovi e significativi. Douglas Bohi, un economista della Charles River Associates di Washington, DC, ritiene, come altri del settore, che «si stia aprendo la prospettiva di uno stupefacente aumento della base di riserve [di petrolio]».

D'altra parte, è vero che negli ultimi due decenni le riserve petrolifere sono aumentate costantemente, il che ha indotto i principali geologi, come William Fisher della University of Texas, Austin, a concludere che «il picco della produzione verrà raggiunto fra trent'anni, forse quarant'anni». L'USGS è convinto che gli ottimisti abbiano ragione e ha ritoccato verso l'alto le proprie stime di crescita delle riserve certe sfruttabili di 612 Gbo.

La questione della crescita delle riserve nei giacimenti esistenti è legata, oltre che all'innovazione tecnologica, alle condizioni del mercato. Se il prezzo mondiale del greggio aumentasse, lo sviluppo e l'utilizzo di nuove e più costose tecnologie di trivellazione diventerebbero un'opzione pra-

licabile. Le nuove tecnologie che stanno contribuendo significativamente all'aumento delle riserve sono tre.

1) Le analisi sismiche 4-D permettono ai geologi non solo di rintracciare in un determinato territorio giacimenti di petrolio, gas e falde acquifere, ma anche di stabilire dove trivellare. In alcuni giacimenti i nuovi metodi di rilevazione e monitoraggio possono aumentare la resa da 10 a 15 punti percentuali, anche se tali processi possono essere utilizzati solo nella metà circa dei giacimenti attualmente sfruttati nel mondo, cioè quelli che si trovano in aree a prevalenza di rocce morbide.

2) I tecnici petroliferi sanno da tempo che il pompaggio convenzionale, che dura fino al completo esaurimento del flusso di liquido dai pozzi, può lasciare nel giacimento anche il 60% del petrolio ivi contenuto. Per riuscire a estrarlo, iniettano nei pozzi gas naturale, vapore o anidride carbonica liquida. I gas infusi penetrano nei pori della roccia spingendo verso i pozzi adiacenti il petrolio che altrimenti non sarebbe stato possibile ottenere. Oppure si inietta sotto il giacimento del liquido per aumentare la pressione e spingere il petrolio in superficie. Queste tecniche possono aumentare la resa dei pozzi dal 10 al 15%, ma sono dispendiose: il monitoraggio sismico 4-D fa lievitare della stessa percentuale i costi del petrolio estratto, mentre le nuove tecniche di iniezione hanno un impatto sui costi di estrazione che oscilla addirittura fra il 50 e il 100%³

3) La trivellazione direzionale è un'altra tecnica per aumentare la resa ed è meno dispendiosa dell'iniezione. I tecnici usano apparecchiature di rilevazione che misurano la resistenza elettrica delle rocce circostanti i giacimenti e, grazie a versatili trivelle direzionabili, trovano la via per raggiungerlo.

Gli ottimisti sottolineano che negli anni Sessanta, nella maggior parte dei pozzi, a essere effettivamente estratto era soltanto il 30% del petrolio. Oggi, il tasso di resa è compreso fra il 40 e il 50%, e in pochi anni potrebbe raggiungere, in numerosi giacimenti, il 75%.⁷⁵ I pessimisti ri-

battono che «gran parte di queste tecnologie sono orientate ad aumentare il ritmo di produzione ... e non fanno molto per le riserve in quanto tali». Inoltre, negli ultimi cento anni le tecnologie di individuazione, monitoraggio e trivellazione hanno conosciuto un costante sviluppo, e il progresso tecnologico è tenuto in debito conto da tutti i modelli fondati sulla curva di Hubbert. E nel caso dei grandi giacimenti mediorientali, le nuove tecnologie sono di scarsa importanza, dato che in quell'area il petrolio non ha alcuna difficoltà a salire in superficie. Le nuove tecniche di coltivazione non potranno determinare quindi se non minimi cambiamenti alla curva, affermano i pessimisti. Albert Bartlett, fisico e professore emerito presso l'University of Colorado, a Boulder, dichiara che «tutti questi elementi di cui parlano gli economisti influenzano solo in modo marginale la curva». Secondo le previsioni dello stesso Bartlett, il picco della produzione petrolifera mondiale verrà raggiunto già nel 2004.

Infine, gli ottimisti guardano agli oceani, convinti che probabilmente esistano, a 1000 - o più - metri sotto la superficie del mare, nuovi giacimenti petroliferi. Le recenti tecnologie permettono ai tecnici di individuare e coltivare questi giacimenti, anche se si tratta di un processo costoso. In un articolo comparso su «Scientific American» Roger Anderson, Doherty Senior Scholar al Lamont-Doherty Earth Observatory della Columbia University, parla in toni entusiastici delle nuove esplorazioni sottomarine. Anderson, come altri, ritiene che l'esplorazione sottomarina farà aumentare del 5% le riserve mondiali, pur essendo convinto che questo non costituirà una differenza decisiva. «Per quanto sia improbabile che queste tecniche scongiurino definitivamente l'incombente crollo dell'offerta di greggio» afferma «permetteranno di guadagnare tempo prezioso per una transizione non traumatica ad altre fonti di energia.»

Concludendo, secondo i pessimisti scoperte e tecnologie nuove possono fare ben poco per condizionare significativamente i tempi della crisi. Che noi siamo preparati o

meno, la produzione mondiale di petrolio convenzionale raggiungerà probabilmente il picco fra il 2010 e il 2020. Walter Youngquist, uno dei decani della geologia del ventesimo secolo, riassume così le argomentazioni dei pessimisti: «Le osservazioni che ho compiuto in oltre settanta paesi per più di cinquant'anni mi dicono che abbiamo già doppiato la boa». ⁷⁹Youngquist avverte che «le pressioni esercitate dalla crescita della popolazione e dalla domanda di energia sono tali che la rotta di collisione con il disastro è inevitabile».

L'ultimo petrolio

Per quanto discutano sul momento in cui la produzione globale di petrolio raggiungerà il picco, tanto gli ottimisti quanto i pessimisti sono concordi nel ritenere che la maggior parte delle residue riserve di greggio si trovino in Medio Oriente, e che il momento in cui il mondo comincerà a dipendere dal petrolio del Golfo Persico è solo questione di tempo. Gli Stati Uniti, per molto tempo leader della produzione di petrolio e fino agli anni Cinquanta responsabili di oltre la metà del flusso petrolifero mondiale, hanno sperimentato in questo settore un costante declino a partire dal 1970, anno in cui l'estrazione petrolifera americana ha raggiunto il picco. Da quel momento è iniziata la loro sempre maggiore dipendenza dalle importazioni. Oggi, gli Stati Uniti rimangono il principale consumatore di greggio: la popolazione americana, che costituisce soltanto il 5% di quella mondiale, consuma il 26% del petrolio prodotto ogni anno nel mondo. Gli Stati Uniti producono l'11% del proprio fabbisogno e, attualmente, dispongono solo del 2% delle riserve mondiali totali. L'EIA prevede che, negli anni a venire, diventeranno sempre più dipendenti dal petrolio d'importazione: un fatto preoccupante, dal momento che il petrolio ha un peso assai rilevante nel deficit della bilancia commerciale statunitense.

La maggior parte degli americani sarà senza dubbio

sorpresa nell'apprendere che, attualmente, gli Stati Uniti importano dai paesi OPEC una quota di petrolio inferiore a quella di venticinque anni fa. Nel primi sei mesi del 2001 gli USA hanno acquistato più greggio dal Canada che dall'Arabia Saudita e soltanto due dei dieci maggiori produttori di petrolio erano paesi del Medio Oriente.

Nei prossimi quattro o cinque anni si prevede che gli Stati Uniti e gli altri paesi occidentali si affideranno al greggio russo per una quota crescente del proprio fabbisogno. In Russia, infatti, le società petrolifere hanno investito miliardi di dollari in nuove esplorazioni e trivellazioni, e il governo ha contribuito alla costruzione di nuovi oleodotti verso il Baltico e il Mar Nero. Di conseguenza, nel 2002 la produzione petrolifera russa è aumentata a 7 milioni di barili al giorno, rendendo questa nazione, almeno temporaneamente, il maggior produttore mondiale.

Nell'autunno del 2001 il petrolio russo ha sommerso il mercato facendone calare il prezzo, al punto che i paesi OPEC hanno minacciato una ritorsione, in termini di guerra dei prezzi, se la Russia non avesse contingentato la produzione. Nonostante tali minacce, è probabile che il governo russo non effettuerà alcuna riduzione significativa: oltre a non essere più in grado di dettare condizioni alle compagnie petrolifere private, esso dipende in larga misura dalle entrate derivanti dalle esportazioni di petrolio e gas (dopotutto, le esportazioni del settore energetico costituiscono il 40% delle entrate dello Stato). Dunque, i piani economici del governo russo si fondano sul mantenimento di un livello di esportazioni petrolifere uguale o maggiore di quello attuale, e a un prezzo di 20 dollari al barile. Ma qui si profila il seguente dilemma: se le compagnie petrolifere continuano a inondare il mercato e il prezzo del greggio scende a 17 dollari al barile, il governo russo potrebbe trovarsi a corto di risorse per i suoi piani di modernizzazione dell'economia e di miglioramento del tenore di vita dei cittadini; se, viceversa, le esportazioni di petrolio fossero drasticamente contingentate, per salvaguardarne il prezzo, il volume pò-

trebbe non essere sufficiente a generare quel flusso di entrate auspicato dal ministero del Tesoro.

Il presidente russo Vladimir Vladimirovic Putin è consapevole della nuova posizione strategica di cui il suo paese gode grazie alle esportazioni petrolifere. Nell'ottobre del 2001 ai delegati convenuti a Mosca per un forum economico mondiale ha dichiarato che, mentre «l'instabilità nel mondo ha un impatto diretto sui mercati mondiali, la Russia rimane un partner e un produttore di petrolio fidato e affidabile». I velati accenni di Putin alle tensioni e all'instabilità in Medio Oriente, soprattutto alla luce di quanto accaduto l'11 settembre, con l'attacco alle Torri gemelle del World Trade Center, non sono passati inosservati.

Probabilmente il nuovo status della Russia nel mercato petrolifero mondiale è destinato a vita breve. Le riserve dell'ex Unione Sovietica sono in costante declino da vent'anni: nel 1975 l'URSS dichiarava riserve per 83 Gbo, a metà degli anni Novanta ne dichiarava per meno di 57 (incluse le repubbliche indipendenti ex sovietiche).

Nei prossimi anni il progressivo contrarsi della produzione petrolifera russa - ma anche di quella del Mare del Nord, della North Slope in Alaska, delle coste dell'Africa occidentale e di altre regioni - lascerà il Medio Oriente nell'invidiabile posizione di ultimo e unico fornitore, già prima della fine di questo decennio. Anche tenendo conto delle stime più generose delle riserve, è generalmente accettato il fatto che nel mondo i due terzi delle attuali riserve globali di petrolio convenzionale sono in Medio Oriente. La sola Arabia Saudita ne possiede il 26%.

Il reale peso del petrolio mediorientale diviene particolarmente evidente se si considera la natura dei giacimenti della zona. Al mondo i giacimenti petroliferi conosciuti sono oltre 40.000, ma i quaranta «supergiganti» - contenenti, cioè, più di 5 Gbo - costituiscono da soli oltre la metà delle riserve mondiali. Ebbene, ventisei di questi quaranta si trovano nel Golfo Persico. Inoltre, mentre gli altri quattordici, soprattutto quelli ubicati negli Stati Uniti e in Russia,

hanno già raggiunto il picco e la loro produzione è in declino, quelli in Medio Oriente sono ancora nella parte crescente della curva a campana di Hubbert. Il tasso riserve/produzione (R/P) è, in questo caso, il dato più significativo, dal momento che determina la durata delle riserve agli attuali livelli di produzione. Negli Stati Uniti, dove più del 60% del petrolio estraibile è già stato sfruttato, il R/P è 10/1, come in Norvegia, mentre in Canada scende a 8/1. In Arabia Saudita, invece, il R/P è 55/1, in Kuwait 16/1, in Iran 53/1, in Iraq 526/1 e negli Emirati Arabi Uniti 75/1.

Nel prossimo decennio la produzione petrolifera mondiale tornerà a gravitare sul Medio Oriente. Secondo le previsioni dell'EIA, il Golfo Persico contiene i due terzi delle riserve mondiali di petrolio e, negli anni a venire, fornirà una quota crescente della produzione mondiale. Si rammenti che, ai tempi della prima crisi petrolifera, il Medio Oriente copriva il 38% del fabbisogno petrolifero mondiale. Negli anni successivi la quota di produzione a carico del Medio Oriente declinò rapidamente al 18%, mentre le nazioni riducevano i consumi e le compagnie petrolifere esploravano altre regioni del mondo alla ricerca di petrolio. Con il rapido esaurimento di questi giacimenti, la quota di mercato mediorientale ha ricominciato a crescere, attestandosi attualmente intorno al 30% della produzione mondiale.

Gli analisti del settore affermano che quando gli *swing producer* - cioè i cinque principali paesi mediorientali produttori di petrolio - saranno in grado di controllare più di un terzo della produzione mondiale, potranno nuovamente imporre il proprio prezzo al mercato mondiale, come riuscirono a fare, per un breve periodo, negli anni Settanta. Molto dipende da quando le esportazioni di greggio russo cominceranno a rallentare.

Campbell e i suoi colleghi prevedono un processo in due fasi. Nella prima, i principali produttori mediorientali conquisteranno una quota significativa della produzione mondiale, circa un terzo, che permetterà loro di au-

mentare drasticamente il prezzo del barile di greggio; dieci anni dopo, intorno al 2015, la produzione dei paesi del Golfo Persico raggiungerà il picco, e il prezzo del petrolio decollerà. Che piaccia o no, dice Youngquist, «le nazioni musulmane del Golfo Persico sono "geodestinate" ad avere l'ultima parola sul petrolio».

Il livello che i prezzi raggiungeranno sarà determinato da diverse variabili. In primo luogo, secondo le previsioni dell'IEA (International Economic Association)⁵ fra oggi e il 2010 i cinque *swing producer*, al fine di soddisfare la crescente domanda globale, dovranno portare la produzione dagli attuali 27 a 48 milioni di barili al giorno. Ma, probabilmente, l'attuale pianificazione produttiva, che prevede un incremento dell'estrazione di greggio in Medio Oriente, non sarà sufficiente a coprire il fabbisogno, lasciando un buco di 10 milioni di barili al giorno che potrebbe incidere in modo determinante sul rialzo del prezzo nei mercati mondiali. In secondo luogo, gli stessi piani di espansione produttiva, ancorché insufficienti a coprire la prevista crescita della domanda, saranno così costosi da provocare comunque un'impennata del prezzo ben prima che la produzione raggiunga il picco anche in Medio Oriente. Joseph Riva, ex membro dell'US Congressional Research Service, avverte che

L'espansione pianificata della produzione petrolifera ... è meno della metà di ciò che servirebbe per soddisfare il fabbisogno previsto dall'EIA per il 2010, ma produrrà nuovi costi per 10 miliardi di dollari, oltre a ulteriori 20 miliardi per aggiornare e ampliare le raffinerie del Golfo Persico, in modo che possano soddisfare la domanda mondiale. L'espansione della produzione petrolifera a livelli superiori a quelli pianificati si dimostrerebbe ancor più costosa, in termini unitari, dato che il restante petrolio è sempre più difficile da estrarre...⁹⁶

Secondo un gruppo sempre più nutrito di geologi e analisti di settore, in un modo o nell'altro il prezzo del petrolio sui mercati globali è destinato a salire e, probabilmente, molto prima di quanto la gente si aspetti. Segnali allarmanti si possono leggere ovunque. Eppure, fino a quando il pe-

trolio resterà relativamente a buon mercato e immediatamente disponibile, saranno pochi a preoccuparsi per le nuvole nere che si addensano all'orizzonte. E, questa volta, la crisi petrolifera non sarà passeggera ma permanente, tanto da provocare un drastico cambiamento nel modo di vivere, con effetti imprevedibili sul lungo periodo.

Per molti, la possibilità che si sia sul punto di esaurire il petrolio disponibile «a buon mercato» per alimentare lo stile di vita industriale è così inimmaginabile che il solo pensiero è considerato con incredulità, indipendentemente dall'enorme messe di studi che può confermare una simile ipotesi. La tendenza a far finta di niente è comprensibile. Raramente le società reagiscono a un «previsto» cambiamento della situazione in cui prosperano. Ma quando il potenziale cambiamento può investire radicalmente la totalità del nostro stile di vita e l'assetto geopolitico del mondo in cui viviamo, tale noncuranza collettiva diventa la ricetta del disastro.

Se la prospettiva di un'autentica crisi energetica globale è un fenomeno inedito, la storia umana abbonda di esempi di grandi civiltà che, non avendo saputo cogliere segnali allarmanti, una volta esaurito il loro regime energetico hanno subito un crollo catastrofico. Fare le giuste scelte per il futuro richiede una profonda comprensione di come le civiltà del passato abbiano affrontato le proprie crisi energetiche. Nel gioco dell'energia, infatti, vi sono regole implicite che vanno rispettate, se la civiltà aspira a sopravvivere, prosperare e rinnovarsi continuamente. Ignorando o infrangendo tali regole, le società sono destinate a invecchiare e perire. Imparare queste regole diventa, quindi, essenziale, per decidere del nostro futuro energetico.

L'energia e l'ascesa e caduta delle civiltà

1

Frederick Soddy, chimico inglese insignito del premio Nobel, notò che l'unità di conto su cui si basa tutta la scienza è l'energia. Ogni giorno i raggi del sole inondano di migliaia di kilocalorie di energia ogni metro quadrato sulla superficie terrestre. Una parte di questa energia è catturata dalle creature viventi e convertita in forme utili per il sostegno della vita, mentre la parte residua si trasforma in calore e si dissipa nello spazio.

Se l'energia è l'alfa e l'omega dell'esistenza, la potenza si può definire come «il flusso d'energia utile». La vita richiede energia e potenza sufficienti a mantenere il ritmo del flusso. La lotta per la sopravvivenza, dunque, sia fra le diverse specie sia al loro interno, è in realtà una competizione per accaparrarsi l'energia utile e garantirsi il continuo fluire attraverso il sistema vivente.

La cultura dell'energia

L'antropologo Leslie A. White osserva che per l'uomo, nell'evoluzione della cultura, il primo «generatore di potenza» è stato il suo stesso corpo. Per la maggior parte della storia umana, *Homo sapiens* ha vissuto da cacciatore-raccoglitore, sfruttando l'energia immagazzinata nelle piante e negli animali selvatici. Agendo collettivamente e in modo cooperativo nell'ambiente, gli uomini sono riusciti ad aumentare la propria massa critica e a utilizzare il corpo come generatore di potenza per assicurarsi ciò di

cui necessitavano per la sopravvivenza di piccole comunità familiari. Più tardi, compiuta la transizione da cacciatore-raccoglitore a pastore-agricoltore, l'uomo acquisì una maggiore capacità di sfruttare l'energia dell'ambiente. Addomesticando piante e animali, si assicurò un rifornimento continuo e sicuro, se non addirittura un surplus, di energia facilmente accessibile e, nel farlo, accrebbe la portata del flusso energetico che poteva scorrere attraverso il suo corpo e la sua comunità. La coltivazione delle piante, favorita dai sistemi d'irrigazione, aumentò considerevolmente la resa per unità di energia umana, o lavoro, spesa. Il surplus agricolo liberò anche alcuni individui dalla schiavitù della terra: il lavoro liberato creò un embrione di gerarchia sociale e divisione dei compiti: lentamente emersero la classe dei sacerdoti, quella dei guerrieri e, più tardi, quella degli artigiani. La differenziazione e la specializzazione dei compiti diffusero strutture istituzionali nuove, più articolate, che, a loro volta, contribuirono a facilitare ulteriormente il flusso dell'energia.

Circa 10.000 anni fa, in Nordafrica e Medio Oriente, in Cina e in India, l'avvento della coltivazione dei cereali segnò un punto di svolta per la società umana. I cereali sono stati chiamati «il grande motore della civiltà». Il surplus alimentare fornì un patrimonio energetico per il sostentamento di una popolazione in aumento e la creazione di regni e, in seguito, di imperi.

Le grandi civiltà dell'Egitto e della Mesopotamia si svilupparono in corrispondenza con l'avvento della coltivazione dei cereali, che permise altresì di intraprendere grandi progetti di opere pubbliche, fra i quali complessi sistemi idraulici per l'irrigazione dei campi. Le donne scoprirono l'uso della terracotta per la preparazione di contenitori in grado di raccogliere e conservare il surplus di grano, per l'immagazzinamento o il commercio. Le arti metallurgiche contribuirono allo sviluppo di armamenti più sofisticati per la conquista di nuove terre e la cattura di schiavi. I membri della casta sacerdotale, improduttiva,

dedicavano buona parte del loro tempo allo studio dei movimenti degli astri, acquisendo la capacità di prevedere le alluvioni primaverili e il tempo migliore per la semina. Con la civiltà dei cereali si svilupparono anche la matematica e la scrittura: la prima fornì le fondamenta per la costruzione dei grandi monumenti, fra cui le piramidi; la seconda dimostrò la propria utilità per la conservazione di conoscenze collettive di società sempre più complesse e articolate, e per gestire i flussi della comunicazione a lunga distanza di civiltà in espansione.

Il passaggio successivo, dallo stile di vita rurale a quello industriale, accrebbe ancora una volta la quantità di energia da catturare, conservare e utilizzare, questa volta imbrigliata e trasformata dalle macchine sotto forma di combustibili fossili. La nuova energia delle macchine agiva come un sostituto meccanico dello schiavo, moltiplicando la quantità di energia e di potenza disponibile sia pro capite sia per la società nel suo complesso.

George Grant MacCurdy, nel suo libro *Human Origins*, descrive l'esperienza umana come un percorso evolutivo contrassegnato da una progressiva utilizzazione dell'energia disponibile. ⁵«Il grado di civilizzazione di ogni epoca, popolo o gruppo di popoli si misura con la rispettiva capacità di sfruttare l'energia per il progresso e i bisogni umani» osserva l'autore. Molti antropologi condividono questa affermazione. White, per esempio, usa l'energia come parametro per misurare la performance relativa delle diverse culture umane. Egli afferma che esiste una correlazione diretta fra la quantità di energia consumata pro capite e il livello di successo di una cultura. La funzione stessa della cultura, secondo White e altri antropologi, è quella di imbrigliare e controllare l'energia in modo che possa essere messa al servizio dell'uomo. Questi riesce nel suo intento creando utensili per catturare e trasformare l'energia, e meccanismi di comunicazione e istituzioni sociali per gestirne il processo di trasmissione e distribuzione. Quello che definiamo progresso umano è in gran parte, secondo

MacCurdy e White, un'istintiva abilità dell'uomo nell'impiegare forme simboliche, utensili e organizzazioni istituzionali per catturare e utilizzare sempre più energia, aumentando, nel farlo, il proprio potere e il proprio benessere.

Howard Odum, uno dei pionieri nel campo dei sistemi a energia naturale, avverte che nell'intreccio fra «uomo, mente ed energia» si deve rammentare che non è l'ispirazione umana, bensì la fonte di energia ciò che determina in ultima istanza il limite del progresso umano.

Scriva Odum:

Tutti i progressi sono legati a speciali sussidi di energia; e il progresso si dissolve dove e quando questi vengono a mancare. Conoscenza e genio sono strumenti per l'applicazione dei sussidi di energia disponibili; e anche lo sviluppo e la conservazione della conoscenza dipendono dalla disponibilità di energia.

La storia delle civiltà - incluse la loro ascesa e caduta - non può essere adeguatamente compresa se non valutando l'importanza di questi «sussidi di energia». Secondo Odum, per ogni società, nel corso della storia, il vincolo è rappresentato dalla disponibilità di un surplus di energia. In mancanza di riserve energetiche adeguate da catturare e sfruttare, tutta la creatività dell'uomo finisce inevitabilmente per essere insufficiente al progresso del benessere della specie.

Per valutare il rapporto fra uso di energia ed evoluzione culturale, White propone alcuni parametri. Ci sono, afferma, tre fattori critici per la valutazione del «progresso» di ogni cultura: il primo è «la quantità di energia catturata e sfruttata pro capite per un anno»; il secondo, «l'efficienza dei mezzi tecnologici con cui l'energia è catturata e sfruttata»; il terzo, «la grandezza dei beni e dei servizi prodotti per le necessità umane». Mettendo insieme questi fattori, White giunge alla conclusione che «la cultura si evolve coll'aumentare della quantità di energia catturata e sfruttata pro capite per anno, o coll'aumentare dell'efficienza dei mezzi strumentali adibiti nell'impiego dell'e-

nergia». In linea con la tradizione materialistica dell'Illuminismo europeo, White è cristallino nella convinzione che l'energia domini tanto i sistemi biologici quanto quelli culturali: «Così tracciamo lo sviluppo della cultura dal livello degli antropoidi ai nostri giorni come conseguenza di periodici aumenti di quantità di energia aggiogata prò capite per anno effettuati catturando nuove sorgenti d'energia».

Si deve notare che White, Odum e MacCurdy sono gli esponenti di una particolare scuola di pensiero. Certamente, i tre possono essere accusati di scambiare l'aumento dell'energia con il progresso sociale e culturale: altrettanto ragionevole sarebbe, infatti, considerare l'aumento del flusso d'energia in una società correlato a un maggior livello di subordinazione coatta del popolo e di degrado ambientale.

Inoltre, numerosi antropologi ribattono che, per quanto lo sfruttamento e la trasformazione di quantitativi crescenti di energia siano intrinseci, perfino essenziali, allo sviluppo della cultura, ciò non significa necessariamente che quella stessa cultura - nei suoi simboli, miti e istituzioni - possa essere interpretata esclusivamente come mezzo strumentale all'accrescimento del flusso d'energia attraverso la società. Comunque, accantonando l'antica questione se la cultura serva ad altri scopi, oltre a quello puramente materialistico, ai fini della nostra analisi il punto di vista di White, Odum e MacCurdy aiuta a comprendere come le riserve e i flussi energetici condizionino evoluzione e involuzione delle società.

È vero, infatti, che le società umane hanno continuato ad aumentare la quantità e la qualità di energia che scorre attraverso la vita individuale e quella sociale, almeno dall'avvento della rivoluzione neolitica con l'instaurarsi dello stile di vita agricolo. Questo crescente flusso, a sua volta, ha imposto il ricorso ad attrezzature più sofisticate e a organizzazioni istituzionali più complesse per governare e gestire il processo. I progressi nella fabbricazione di utensili e un'organizzazione sociale più articolata hanno avuto

un prezzo rilevante, di cui fanno parte lo sviluppo di strutture sociali più gerarchizzate, una più accentuata differenziazione e specializzazione dei compiti dell'uomo e la più spinta concentrazione di potere al vertice. In altre parole, quanto maggiore è il flusso orizzontale di energia dall'ambiente alla società, tanto maggiore deve essere il flusso verticale di potere dall'alto verso il basso a tutela del processo. Questo non è del tutto sorprendente: le piccole comunità familiari di cacciatori-raccoglitori si affidavano ai propri membri come «generatori di energia», nella misura di circa 1/20 di cavallo vapore pro capite l'anno. Un flusso d'energia di siffatta dimensione non richiede complesse organizzazioni istituzionali per essere gestito.

Più avanti, nel corso della storia, i nostri antenati si sono catturati e «imbrigliati» fra loro, per sfruttarsi reciprocamente come generatori di energia - un processo che si è protratto fino all'ultima parte del diciannovesimo secolo - ricorrendo alla schiavitù come mezzo per accrescere il flusso d'energia. Il lavoro degli schiavi ha costruito le colossali piramidi egizie, la Grande Muraglia cinese, i templi delle civiltà maya e teotihuacana nelle Americhe. La Grande Muraglia cinese richiese l'opera di oltre un milione di schiavi, metà dei quali perirono durante i lavori. Nei primi secoli dell'era cristiana, quasi il 20% della popolazione di Roma era composto di schiavi. Nel corso della storia gli schiavi sono stati utilizzati anche come mezzi di trasporto: ancor oggi, in Asia, esistono i riscio, benché il lavoro del loro motore umano non sia più coatto; nel Mediterraneo, fino alla metà del Cinquecento, si utilizzavano schiavi o galeotti per la propulsione delle galere.

Le società schiaviste richiedevano un impiego più elaborato degli utensili, soprattutto sotto forma di armamenti militari per la cattura degli schiavi, e di vie di comunicazione più avanzate per gestire, controllare e mobilitare il lavoro coatto. Il risultato era una maggiore concentrazione di potere al vertice della gerarchia sociale per controllare e gestire la maggiore complessità. Ma perfino questo grado di

concentrazione del potere impallidisce di fronte al controllo gerarchico necessario alle società industriali avanzate dei nostri giorni per catturare l'energia sotto forma di carbone, petrolio e gas naturale, e per governare gli schiavi meccanici che la irradiano nella società.

L'energia è la forza primigenia e il mezzo su cui si costruisce tutta la cultura umana. E, ovviamente, la storia dell'uomo mostra un evidente aumento del flusso dell'energia e della complessità delle istituzioni sociali necessarie per assecondarlo. Ma, per comprendere appieno la ragione per cui civiltà fondate su differenti regimi energetici fioriscono e decadono, dobbiamo capire le regole che governano l'energia. Tali regole esistono a priori, in quanto leggi naturali, e dettano le condizioni secondo cui l'energia fluisce tanto sulla terra quanto, più in generale, nell'universo. Esse insegnano anche come debba essere giocata la partita dell'energia, se la si vuole vincere; e spiegano non solo dove le civiltà del passato hanno fallito, ma ciò che la nostra società deve evitare per non subire lo stesso destino, mentre ci avviciniamo al «punto di svolta» nell'era degli idrocarburi.

Le leggi della termodinamica

Le leggi che governano l'energia sono due. La prima e la seconda legge della termodinamica sono state compiutamente formulate solo nella seconda metà del diciannovesimo secolo, quasi centosettant'anni dopo la pubblicazione dei *Principia* di Newton, che definirono le leggi della meccanica. Sfortunatamente, mentre a ogni scolaro vengono insegnate le leggi che governano la forza di gravità e la ragione per cui le mele cadono dai rami degli alberi, pochi sono introdotti alle leggi che regolano la trasformazione dell'energia. Eppure, si tratta di leggi che possono dare un contributo più prezioso per comprendere gli alti e bassi dell'esistenza, incluso il trascorrere del tempo e il funzionamento dei sistemi chimici, biologici e sociali del nostro

pianeta. Il grande matematico e filosofo del Novecento Alfred North Whitehead disse ai suoi studenti che la meccanica newtoniana ci parla semplicemente di relazioni spazio-temporali della materia in movimento, aggiungendo:

Appena avrete determinato ... ciò che capite come posto definito nello spazio-tempo, potrete esporre in modo adeguato la relazione di un corpo materiale particolare con lo spazio-tempo, dicendo che è *là*, a quel posto, e, in quanto si tratta di semplice localizzazione, non v'è più nulla da dire al riguardo.

Le leggi della termodinamica, invece, ci dicono come si comporta l'energia e sono, perciò, più rilevanti per la comprensione degli eventi quotidiani degli ecosistemi e dei sistemi sociali. Albert Einstein era solito discettare scherzosamente su quale delle leggi della scienza fosse più estesa e onnicomprensiva.

A proposito delle leggi della termodinamica, il grande fisico del secolo scorso affermava:

Una teoria è tanto più stupefacente quanto più sono semplici le sue premesse, quanto più diversi sono gli accidenti che mette in relazione, e quanto più vasto è il suo campo di applicabilità. Da qui discende la grande impressione che mi ha sempre fatto la termodinamica classica: è l'unica teoria fisica di contenuto universale di cui sia convinto che, nell'ambito del suo spettro di applicabilità, non sarà mai messa in discussione.

17

La prima e la seconda legge della termodinamica affermano che «il contenuto totale di energia nell'universo è costante, e l'entropia totale è in continuo aumento». La prima legge, quella che stabilisce la costanza del contenuto totale di energia dell'universo, è detta anche «legge della conservazione» e implica che l'energia non possa essere creata né distrutta. La quantità di energia dell'intero universo è stata determinata fin dall'inizio dei tempi e rimarrà identica fino alla fine. Ogni essere umano comparso sul pianeta, ogni cosa che l'uomo ha creato, costruito, eretto o prodotto nel corso della storia, non sono altro che energia trasformata da uno stato all'altro. L'energia che compone il

corpo umano e le cose create dall'uomo era già presente altrove, in un altro stato, prima di venir incorporata in un essere umano o in un manufatto. Quando un uomo muore e si decompone, quando gli oggetti si disintegrano, l'energia da essi rilasciata torna libera nella natura.

A questo punto interviene la seconda legge della termodinamica. Benché non possa essere creata o distrutta, l'energia cambia continuamente stato, ma solo in un'unica direzione, da disponibile a indisponibile. Per esempio, se bruciamo un pezzo di carbone, l'energia rimane ma si trasforma in biossido di zolfo, anidride carbonica e altri gas che si disperdono nello spazio. Nel processo non vi è alcuna dispersione di energia, ma noi non potremo mai più bruciare di nuovo quel pezzo di carbone, ricavandone un lavoro utile. La seconda legge della termodinamica afferma che, quando l'energia si trasforma, una parte dell'energia disponibile si perde nel processo e, quindi, non è più in grado di essere sfruttata per un lavoro utile. La perdita di energia utilizzabile è detta «entropia», uno dei concetti più importanti, anche se meno compresi e apprezzati, della fisica. Il termine entropia fu coniato dal fisico tedesco Rudolf Clausius nel 1868.

Affinché l'energia possa essere convertita in lavoro, osservava Clausius, ci deve essere una differenza nella concentrazione di energia (per esempio, una differenza di temperatura) tra le diverse parti del sistema. C'è lavoro quando l'energia si muove da un livello di concentrazione più elevato a uno inferiore (o da una temperatura più alta a una più bassa). Per esempio, un motore a vapore genera lavoro perché alcune parti del sistema sono molto fredde e altre molto calde. È altrettanto importante il fatto che, quando l'energia si sposta da un livello all'altro, al passaggio successivo è disponibile meno energia per generare lavoro. Si prenda, per esempio, un attizzatoio rovente: se lo si toglie dal fuoco, comincia a raffreddarsi, perché il calore fluisce dal corpo più caldo verso quello più freddo (l'aria, in questo caso). Dopo un certo tempo, però, l'attiz-

zatoio raggiunge la stessa temperatura dell'aria circostante. Questo è lo stato che i fisici definiscono di equilibrio, cioè quello in cui non c'è più alcuna differenza nel livello di energia e, perciò, non c'è più possibilità di generare lavoro. L'energia, un tempo utile, non è più concentrata nell'attizzatoio rovente, ma è casualmente dispersa nell'aria ed è, quindi, indisponibile. La seconda legge della termodinamica, dunque, ci dice che l'energia si trasforma sempre in una direzione: dal caldo al freddo, dal concentrato al disperso, dall'ordine al disordine.

E possibile invertire il processo entropico, ma solo utilizzando ulteriore energia. E, naturalmente, questa energia, una volta utilizzata, va ad aggiungersi all'entropia generale. Per esempio, riciclare rifiuti richiede l'impiego di ulteriore energia per la raccolta, il trasporto e la manipolazione dei materiali usati, il che aumenta l'entropia generale del sistema. Immaginiamo di raccogliere dalla superficie della terra un pezzo di metallo allo stato naturale e di trasformarlo in un utensile. Molecole metalliche si disperdono continuamente dal manufatto in conseguenza dell'attrito e dell'usura; le molecole disperse non sono distrutte, ma si trovano sparse così casualmente da non essere più in grado di generare lavoro utile. Alla fine torneranno alla terra, ma in forma ancor più dispersa e casuale di quando esistevano nella forma di un pezzo di metallo. Per raccogliere e riciclare la materia dispersa è necessario inventare un apposito utensile. Ma tanto la macchina quanto il suo funzionamento consumano energia: la prima sotto forma di dispersione di molecole metalliche a causa degli attriti e dell'usura, il secondo sotto forma di gas esausti. Dunque, per riciclare le molecole metalliche disperse si deve utilizzare nuova energia, aumentando così l'entropia generale.

Se, da una parte, non ci si aspetta che il sole consumi la propria energia prima di qualche miliardo di anni, continuando così a rifornire la terra di nuova energia per tutto il tempo che riusciamo a immaginare, ci si deve rendere

tonto che l'energia concentrata, in forma materiale, sul nostro pianeta (giacimenti minerali o petroliferi, per esempio) è relativamente fissa nello spettro temporale geologico di rilievo per le nostre società. Questo perché, in termini termodinamici, la terra, in rapporto al sistema solare e all'universo, è un sistema chiuso. Esistono tre tipi di sistemi termodinamici: chiusi, aperti e isolati. I sistemi aperti scambiano energia e materia; i sistemi chiusi scambiano energia, ma non materia in quantità rilevanti; quelli isolati non scambiano né energia né materia. La terra è un sistema chiuso: scambia energia con il sistema solare ma, se si eccettuano qualche sporadica meteorite e quantitativi trascurabili di polvere cosmica, non scambia alcuna materia con il resto dell'universo. Il punto importante, qui, è che il flusso dell'energia solare non produce alcuna materia: il sole può irraggiare per l'eternità un contenitore vuoto senza per questo generare vita sotto alcuna forma. La terra ha una dotazione fissa di materia terrestre che, con l'ausilio dell'energia solare, può essere convertita in forme utili. Per esempio, nel Giurassico l'energia del sole ha interagito con la materia terrestre, contribuendo a trasformare tale materia in vita. Quella vita, decomponendosi, ha formato i depositi di carbonio che oggi consumiamo bruciando carbone, petrolio e gas naturale. L'energia decaduta, sotto forma di gas, non è più in grado di generare lavoro. Per quanto si possa supporre che analoghi depositi di carbonio si possano ragionevolmente accumulare in qualche periodo futuro della storia geologica, in ogni caso e sotto ogni aspetto stiamo parlando di un futuro così lontano da essere del tutto irrilevante dal punto di vista dell'uomo. Ecco perché definiamo i combustibili fossili una fonte non rinnovabile di energia.

Riassumendo, la prima legge della termodinamica stabilisce che la quantità di energia dell'universo è costante, che l'energia non può essere creata o distrutta, e che solo la sua forma può cambiare. La seconda legge della termodinamica stabilisce che l'energia si può trasformare in una

sola direzione e, cioè, dall'utilizzabile all'inutilizzabile/ dal disponibile all'indisponibile, dall'ordine al disordine. Tutto nell'universo, secondo la seconda legge della termodinamica, ha inizio come energia disponibile e concentrata e si trasforma, nel tempo, in energia indisponibile e decaduta. L'entropia è la misura di quanta parte dell'energia presente in un sottosistema dell'universo, in un dato momento, si è già trasformata in forma decaduta.

Se la società è organizzata in funzione del continuo sforzo di convertire l'energia disponibile ricavata dall'ambiente al fine di sostenere l'esistenza umana, l'osservazione di Soddy sull'importanza delle leggi della termodinamica sembra calzante: egli affermava che le leggi della termodinamica «controllano, in ultima istanza, l'ascesa e la caduta dei sistemi politici⁸, la libertà e la sudditanza delle nazioni, i movimenti del commercio e dell'industria, le origini della ricchezza e della povertà, il benessere materiale generale della razza».

Ma c'è qualcosa che non torna. Se, nella realtà, l'energia viene continuamente trasformata da uno stato concentrato a uno casuale, da una condizione di ordine a una di disordine, che spiegazione dare degli organismi viventi e dei sistemi sociali, che sembrano mantenere nel tempo un elevato livello di energia concentrata e di ordine, in apparente contraddizione con le regole della termodinamica?

In un primo tempo, i biologi non sapevano come conciliare la vita con le ferree leggi della termodinamica. Harold Blum, nel suo *Time's Arrow and Evolution* (Freccia del tempo ed evoluzione), ha contribuito a rendere la biologia compatibile con la prima e la seconda legge della termodinamica, spiegando che la vita rappresenta solo un caso particolare delle modalità di comportamento dell'energia. Tutti gli esseri viventi, egli afferma, vivono in condizioni molto lontane dall'equilibrio, in quanto assorbono in continuazione energia libera dall'ambiente. Gli organismi si mantengono in uno stato stabile di esistenza ordinata solo nutrendosi di energia disponibile e aumentando l'entro-

pia complessiva del sistema. Blum spiega che «la modesta, localizzata diminuzione dell'entropia che si registra nella struttura di un organismo è compensata da un superiore incremento dell'entropia nell'universo».

La fonte di energia libera è il sole. I vegetali assorbono l'energia solare attraverso il processo di fotosintesi e diventano una fonte di energia concentrata che può essere consumata dagli animali, tanto direttamente, cibandosi di vegetali, quanto indirettamente, a uno stadio più elevato della catena alimentare, nutrendosi di altri animali. Erwin Schrödinger, premio Nobel per la fisica, ha osservato che, «traendo dal suo ambiente continuamente entropia negativa», ciò di cui un organismo si nutre è entropia negativa, sicché assorbe «continuamente ordine dall'ambiente».

Se ci si pensa un momento, ciò che i biologi affermano è noto e condivisibile: noi ci manteniamo in vita trasformando ininterrottamente l'energia attraverso il nostro corpo; se il flusso d'energia si arrestasse o il nostro organismo non fosse in grado di trasformare l'energia disponibile a causa di una malattia, ben presto moriremmo, passando a uno stato di equilibrio. Subito dopo la morte, il corpo comincia a decomporsi rapidamente, e il nostro essere fisico si dissipa e si disperde nell'ambiente circostante. Secondo i biologi, dunque, la vita è un esempio di termodinamica del non equilibrio: la vita mantiene l'ordine e riesce a rimanere in condizioni lontane dall'equilibrio (o dalla morte) solo attraverso la continua trasformazione di energia libera o disponibile presente nell'ambiente circostante.

Il processo di mantenimento di uno stato di non equilibrio, lontano dalla morte, è dispendioso in termini energetici. Perfino i vegetali, gli «impianti di generazione» più efficienti del pianeta, assorbono attraverso la fotosintesi solo una modestissima frazione dell'energia che la terra riceve. Il resto viene dissipato. Dunque, la minima riduzione di entropia che si verifica negli organismi vegetali è ottenuta a spese di un ben più marcato aumento dell'entropia nell'ambiente in generale.

Bertrand Russell, il grande filosofo e matematico del Novecento, osservò che «ogni creatura vivente è un imperialista che cerca di appropriarsi della maggior parte possibile dell'ambiente, a vantaggio proprio e della propria discendenza». Tanto più una specie è evoluta nella gerarchia della natura, quanta più energia richiede per mantenersi in uno stato di non equilibrio, quanta più entropia si crea nei processi che la tengono in vita.

Si consideri l'esempio di una catena alimentare semplice: erba, cavalletta, rana, trota, uomo. In base alla prima legge della termodinamica, l'energia non si distrugge. In base alla seconda legge, però, a ogni successivo passaggio del processo della catena alimentare l'energia disponibile decade verso lo stato di energia indisponibile, aumentando l'entropia generale dell'ambiente. 22

Il chimico G. Tyler Miller ci ricorda che, nel divorare la preda, «dall'80 al 90% dell'energia viene semplicemente sprecata e dispersa nell'ambiente sotto forma di calore». In altre parole, solo una quota compresa fra il 10 e il 20% dell'energia della preda viene assorbita dal predatore. Questo perché l'atto di trasformare l'energia da una forma di vita all'altra richiede un dispendio energetico e, perciò, comporta una perdita di energia. La quantità di energia libera necessaria per mantenere in vita le specie evolute che si collocano nei posti più alti della catena alimentare è a dir poco stupefacente. Miller calcola che «per sostenere un uomo per un anno sono necessarie trecento trote. Le trote, a loro volta, in un anno si nutrono di 90.000 rane, che devono consumare 27 milioni di cavallette, che sopravvivono grazie a 1000 tonnellate d'erba». Dunque, risalendo la scala evolutiva, ogni creatura si mantiene in uno stato ordinato, di non equilibrio, a spese di un maggior disordine (energia dissipata) nell'ambiente considerato nel suo complesso.

L'energia fluisce continuamente attraverso tutti gli organismi viventi, entrando nel sistema a un livello elevato per uscirne in uno stato più degradato sotto forma di sco-

ria. Ancora una volta, quanto più un organismo è evoluto, tanta più energia è necessaria per mantenerlo in uno stato di non equilibrio. Questo significa che, risalendo la scala evolutiva, ogni specie deve essere fisiologicamente meglio attrezzata della precedente per catturare l'energia disponibile. Il biologo Alfred Lotka afferma che possiamo pensare alle creature viventi come a «trasformatori» di energia: «La stretta associazione dei principali organi sensoriali - occhi, orecchie, naso, papille gustative, papille tattili sulla punta delle dita - con l'estremità anteriore [testa] del corpo, con l'estremità della bocca, ci indirizza in questa direzione». La selezione naturale favorisce gli organismi che sono in grado di «aumentare la massa totale del sistema, il tasso²⁵ di circolazione della massa nel sistema, e il flusso totale d'energia attraverso il sistema ... finché è disponibile un residuo inutilizzato di materia e di energia sfruttabile».

Ripensare il progresso economico

Dunque, l'evoluzione è la costruzione di sistemi di organizzazione sempre più complessi, in cui ogni specie è sempre più differenziata e specializzata delle precedenti, in modo da catturare e concentrare una maggiore quantità di energia disponibile. Dal punto di vista della termodinamica, l'evoluzione non è tanto una questione di avanzamento ininterrotto, quanto di continuo avvicendamento fra un crescente utilizzo e una crescente dissipazione di energia. L'evoluzione ha come risultato la creazione nel mondo di più vaste isole di ordine a prezzo di un sempre più vasto oceano di disordine. Se questo è vero per le specie e per gli ecosistemi, lo è altrettanto per i sistemi sociali dell'uomo. Per fugare ogni dubbio in proposito, si pensi a quanta energia libera è necessaria per sostenere le strutture economiche e sociali e lo stile di vita americani, e quanta entropia viene generata in tale processo.

Gli Stati Uniti hanno creato un enorme complesso di

«trasformatori» per distribuire energia in ogni arteria dell'organismo sociale. Sebbene, come detto, ospitino soltanto il 5% della popolazione mondiale, gli USA consumano circa il 25% dell'energia prodotta nel mondo. Ogni anno l'americano medio consuma 3650 chilogrammi di petrolio, 2132 di gas naturale e 2335 di carbone, oltre a circa 40 grammi di uranio.

Youngquist sostiene che, se si vuole capire esattamente quanta energia fluisce ogni giorno nella società americana, lo si può fare calcolando l'equivalente dell'energia a disposizione di ogni individuo in termini di «potenza-persona». Si comincia ipotizzando che una «potenza-persona» (PP) equivalga a 0,25 cavalli vapore = 186 watt = 635 kilowattora. Secondo Youngquist, se l'attuale utilizzo di energia negli Stati Uniti dovesse essere calcolato in «potenza-persona», per generare la stessa quantità di lavoro occorrerebbe una popolazione circa tre volte maggiore di quella mondiale attuale. In parole più semplici, l'americano medio dispone ogni giorno di una quantità di energia che potrebbe essere prodotta da cinquantotto schiavi che lavorassero ininterrottamente ventiquattr'ore su ventiquattro. Se «acquistassimo l'energia contenuta in un barile di petrolio allo stesso prezzo che corrisponderemmo alla manodopera necessaria per generare la medesima quantità di lavoro (considerando un salario di 5 dollari / ora), il greggio costerebbe non 17, ma 45.000 dollari al barile».30

Non sorprenderà scoprire che, anche in termini di entropia, il prezzo del regime energetico americano è altrettanto elevato. Consumando il 25% dell'energia mondiale, gli americani contribuiscono per il 30% alle emissioni globali di anidride carbonica: ogni anno, ogni cittadino americano emette nell'atmosfera 6,6 tonnellate di gas serra (equivalenti a più di 6800 chilogrammi di carbonio). L'82% di queste emissioni è dovuto alla combustione di carburanti fossili per generare energia elettrica e per fornire la potenza necessaria a far circolare automobili e altri mezzi di trasporto. La maggior parte di quel che resta deriva dal

metano generato dalle discariche, dalle moderne pratiche agricole, dai gasdotti e dall'industria chimica.

È anche vero che, quanto più una società è matura e invecchia, tanta più energia è necessaria per mantenerla: il flie significa sempre meno energia disponibile per l'innovazione e l'espansione. Il rapporto annuale sullo stato delle infrastrutture, redatto per il 2001 dall'American Society of Civil Engineers (ASCE) è, a questo riguardo, illuminante. Secondo l'associazione, le infrastrutture americane - strade, ponti, porti e aeroporti, scuole, acquedotti, fognature, dighe, discariche, canali navigabili ed energia - versano in un tale stato di degrado da rendere urgente, nei prossimi cinque anni, un investimento di 1300 miliardi di dollari per la sola manutenzione. Il rapporto ASCE riferisce che il 33% delle principali strade della nazione sono al di sotto dello standard, e costano ogni anno ai cittadini 5,8 miliardi di dollari. Le pessime condizioni del fondo stradale sono causa di 13.800 decessi ogni anno. Inoltre, un terzo delle strade urbane a scorrimento veloce sono congestionate. I ponti non si trovano in una situazione migliore: il 29% sono obsoleti o strutturalmente carenti e, secondo l'associazione, saranno necessari 10,6 miliardi di dollari l'anno, per i prossimi vent'anni, per il loro ammodernamento. Gli aeroporti sono ultracongestionati e le loro strutture perennemente sotto pressione, il che determina, ogni mese, 50.000 ritardi in decollo o in atterraggio. Le scuole stanno invecchiando e sono sovraffollate; l'ASCE stima che il 75% delle infrastrutture scolastiche sia inadeguato rispetto alla domanda di istruzione. I 54.000 acquedotti sono antiquati e stanno diventando fonte di inquinamento; molti dei 16.000 sistemi fognari sono sull'orlo del collasso: alcuni hanno più di cent'anni e sono saturati dalla domanda. Attualmente, il finanziamento della manutenzione del sistema fognario nazionale è carente nella misura di 12 miliardi di dollari l'anno. Oggi, più di 2100 dighe sono classificate come pericolose e nel biennio 1999-2000 si sono verificati 61 cedimenti. La rete della navigazione interna è così vecchia che il 44% delle

chiuse hanno già superato i cinquantanni di utilizzo per cui erano state progettate. Eppure, ci si aspetta che la domanda di trasporto fluviale raddoppi entro il 2020. Infine, a partire dal 1990, la capacità di generazione elettrica della nazione ha subito una contrazione annua del 30%. Attualmente vengono aggiunti ogni anno 7000 megawatt (MW) di elettricità, contro un fabbisogno annuo di 10.000, necessario per soddisfare una crescita media annua dell'1,8%.

Dunque, quanto più un organismo sociale è evoluto e complesso, tanta più energia è necessaria per sostenerlo e tanta più entropia si genera in tale processo. Questa semplice realtà si scontra con la teoria economica ortodossa: infatti, né il capitalismo né il socialismo riescono ad accettare la dura realtà del «mondo reale» imposta alla società e alla natura dalla prima e dalla seconda legge della termodinamica.

La teoria capitalistica classica si fonda sul principio che l'attività economica trasforma in valore ciò che altrimenti sarebbe improduttivo. John Locke affermava che «una terra che sia lasciata interamente allo stato naturale ... è chiamata deserto, come in realtà è». Locke si permise anche di rovesciare la seconda legge della termodinamica proclamando che la natura, in sé, è inutile e acquisisce valore solo quando l'uomo le applica il proprio lavoro, trasformandola in bene produttivo. Scrive Locke:

Chi si appropria terra col suo lavoro, non diminuisce, ma aumenta le scorte comuni dell'umanità, perché le provvigioni che servono per la sussistenza della vita umana, prodotte da un solo iugero di terreno cintato e coltivato, sono - per dirla con un rapporto assai moderato - dieci volte maggiori di quelle che son prodotte da un iugero di terra di eguale fertilità lasciata deserta in comune. E perciò chi recinge una terra, ed ha da dieci iugeri un'abbondanza di comodi della vita maggiore di quella che avrebbe da cento iugeri lasciati allo stato naturale, si può veramente dire che ha dato all'umanità novanta iugeri.

La teoria economica classica è fondata sulla fisica della meccanica newtoniana e non ha mai fatto i conti con le leggi della termodinamica. Mutuando da Newton il concetto per cui a ogni azione corrisponde una reazione u-

guale e contraria, economisti classici come Adam Smith e Jean-Baptiste Say paragonavano il mercato a un meccanismo in cui domanda e offerta si equilibrano continuamente: se la domanda dei consumatori di un bene o di un servizio aumenta, i venditori aumentano il prezzo; se il prezzo aumenta troppo, la domanda diminuisce e i venditori sono costretti ad abbassarlo per stimolare i consumi. La medesima logica è applicata allo sfruttamento delle risorse naturali: se una risorsa comincia a scarseggiare, il suo prezzo aumenta, e questo incentiva i venditori a ricorrere a nuove tecnologie per sfruttare più efficientemente le poche risorse disponibili o per trovare risorse alternative. La base di risorse è considerata inesauribile e sempre disponibile, in qualche forma, al giusto prezzo. Per contro, l'entropia è considerata, ammesso che lo sia, esclusivamente come un epifenomeno dello scambio, del tutto marginale rispetto al vantaggio generale che se ne trae.

Le leggi della termodinamica ci raccontano una storia molto diversa. L'attività economica consiste semplicemente nel prendere a prestito dall'ambiente input di energia a bassa entropia, per trasformarla in prodotti e servizi temporanei che hanno un valore. Nel processo di trasformazione viene spesa e dispersa nell'ambiente più energia di quanta ne sia incorporata nel bene o nel servizio prodotti. Perfino i prodotti finiti e i servizi sono temporanei nella loro natura e, attraverso l'uso e il consumo, si dissipano o si disintegrano, tornando alla fine all'ambiente sotto forma di energia decaduta o di scoria.

Ora, che conclusioni dobbiamo trarre a proposito del prodotto interno lordo (PIL)? Siamo tutti convinti che il PIL sia una misura della ricchezza generata da una nazione in un anno, ma da un punto di vista termodinamico si tratta, più verosimilmente, di una misura del valore dell'energia temporaneamente incorporata in beni e servizi prodotti, con conseguente diminuzione delle riserve energetiche disponibili e accumulo di scorie entropiche. Se, alla fine, anche i beni e i servizi che produciamo confluiscono nel flusso

dell'entropia, il bilancio di quello che consideriamo il progresso economico non potrà che chiudere in rosso. In altre parole, nel momento in cui tutti gli elementi sono presi in considerazione, ogni civiltà finisce inevitabilmente per sottrarre all'ambiente più ordine di quanto riesca a crearne, impoverendo la terra per il semplice fatto di esistere.

Le società che sopravvivono più a lungo sono quelle che si avvicinano maggiormente a una condizione di equilibrio fra le esigenze della natura e quelle dell'uomo, date le inevitabili restrizioni imposte dalla seconda legge della termodinamica. Le società raggiungono un cosiddetto «stato stabile» solo nel momento in cui imparano a sopravvivere, meglio che possono, rispettando i tempi della natura. Lo sfruttamento, la conversione, la distribuzione e il consumo dell'energia, in molte delle sue forme economiche, vengono mantenuti a un tasso approssimativamente commisurato alla capacità dell'ambiente circostante di riciclare le scorie, ripristinando il patrimonio di energie rinnovabili. È un bilancio che non può mai essere in pareggio, a causa della penalizzazione energetica intrinseca al processo di trasformazione. Eppure, alcune società - soprattutto le piccole comunità di cacciatori-raccoglitori e quelle agricole fondate sul nucleo familiare allargato - si sono mantenute per tempi molto lunghi, prima di esaurire il proprio regime energetico. Le grandi civiltà della storia umana hanno avuto meno successo. Osservare la loro ascesa e caduta attraverso la lente della termodinamica può essere di grande aiuto per chiarirsi le idee riguardo alla crisi con cui si sta confrontando il nostro sistema sociale, in progressivo avvicinamento allo spartiacque di un regime energetico fondato sullo sfruttamento dei combustibili fossili.

Perché le grandi civiltà crollano

Nella storia del mondo le civiltà sono fenomeni rari. Secondo lo storico britannico Arnold Toynbee, non ce ne sono state più di trenta. Altri storici sono ancor meno genero-

si: Oswald Spengler, Alfred L. Kroeber, Carroll Quigley e Kushton Coulborn sostengono che il numero delle grandi civiltà degne di essere ricordate oscilla fra otto e quindici.

Una delle cose che sappiamo è che circa 6000 anni fa, in diverse parti del mondo, ha cominciato ad affermarsi un nuovo tipo di organizzazione sociale: le piccole comunità basate sulla famiglia allargata furono a poco a poco sostituite da nuove entità che presentavano già numerosi tratti caratteristici dello Stato. L'affiliazione tribale, tradizionale griglia di riferimento della vita sociale, venne rilevata da appartenenze più deboli, basate sull'occupazione del medesimo territorio: popoli diversi si riunirono e si legarono nell'ambito di nuovi confini definiti dalle regioni e dalla geografia. L'emergere di tali Stati portò con sé il controllo gerarchico esercitato da potenti élite di governo. Per gestire gli affari quotidiani dei diversi soggetti dello Stato si crearono le burocrazie; per regolare i comportamenti degli uomini si redassero codici e si emanarono statuti; per raccogliere tasse sulla produzione agricola si individuavano meccanismi tributari; per conquistare le terre confinanti, garantire la sicurezza della società contro gli invasori e mantenere l'ordine interno vennero costituiti gli eserciti. Il potere aveva il proprio perno nei centri urbani e da lì si irradiava verso i lontani confini del regno. Questi centri erano luoghi sacri e, perciò, legittimati dalle divinità. I leader, a loro volta, erano designati come «emissari degli dèi», responsabili dell'amministrazione dei regni temporali. I crescenti surplus alimentari e l'invasione di terre confinanti, insieme al lavoro degli schiavi, fornivano le riserve di energia disponibile per mantenere la crescente popolazione urbana improduttiva e per garantire sostentamento a complessi e ramificati organismi sociali. Le civiltà si distinguono dalle società più semplici proprio per l'accumulazione, la gestione e la trasformazione di grandi quantità di energia.

Dai tempi dell'antica Grecia a oggi, due domande hanno tormentato gli storici: perché nella storia vi siano state

così poche civiltà - che paiono essere un'anomalia più che la norma - e perché l'enorme potere da esse accumulato e istituzionalizzato, per quanto in apparenza imponente, spesso si disintegra rapidamente, portando a un rovinoso e repentino crollo.

Gli storici hanno formulato diverse e suggestive ipotesi per spiegare l'ascesa e la caduta delle grandi civiltà. Il tedesco Spengler privilegia un modello organico e considera la nascita, la vita e la morte di una civiltà in maniera analoga al ciclo che governa la vita umana. Le civiltà, secondo Spengler, conoscono le stesse età, gli stadi organici attraversati dall'uomo, tanto che se ne possono individuare «gioventù, ascesa, maturità, declino». Come l'uomo, afferma Spengler, ogni civiltà vive su un'«idea», significando con questo termine generico il concetto che fonda la sua identità unica, le sue passioni, i suoi sentimenti, il senso della sua missione e del suo destino. Ma ciò che è più importante, nota Spengler, è che l'esistenza vitale di ogni civiltà, quella sequenza di grandi periodi che definiscono e illustrano le fasi della grandezza, non è che una lotta appassionata per sostenere l'Idea contro la potenza del Caos. L'Idea, per Spengler, consiste nei principi ispiratori e nello schema che riuniscono l'energia collettiva del popolo e creano un universo sociale ordinato. Questa sua tesi che ogni società organizza la propria energia umana intorno a un'idea centrale per creare l'ordine contro la potenza del Caos lo colloca a pieno titolo nel campo della termodinamica. E non è il solo.

Toynbee muove da un approccio molto diverso all'analisi storica e alla spiegazione dell'ascesa e caduta delle civiltà, ma alla fine giunge a un'interpretazione in cui le leggi della termodinamica echeggiano distintamente. Egli considera lo sviluppo di una civiltà come una sequenza di problemi e di relative soluzioni: le società si confrontano con la questione di come gestire le risorse e sfruttare l'energia che queste risorse rendono disponibile. Si presentano continuamente problemi che minacciano di frenare il

flusso dell'energia e che richiedono reazioni innovative e creative. Toynbee è convinto che il collasso delle grandi civiltà sia dovuto ³⁸ «carezza di vitalità», cioè all'incapacità di mobilitare energia umana sufficiente a superare gli ostacoli che minacciano e mettono a repentaglio il funzionamento sociale.

Nei tempi antichi il rinnovamento religioso era l'agente catalizzatore che unificava e mobilitava l'energia umana verso l'obiettivo di una continua ricostruzione della società. Quando lo spirito religioso si dissolve, l'energia umana si dissipa. La fede collettiva che convince gli uomini a unire le forze e ad agire all'unisono per realizzare un obiettivo comune si disintegra. La volontà collettiva è frammentata e diviene preda delle forze del caos³⁹ della disperazione. Lo storico Coulbourn nota che le società mantengono il proprio vigore finché la fede religiosa è forte, e lo perdono quando il fervore religioso si raffredda. In epoca moderna, l'ideologia ha avuto un ruolo analogo a quello della religione nella mobilitazione delle energie collettive degli uomini. Ancora una volta, si percepisce, nell'ombra, la presenza delle leggi dell'energia, a rammentarci che l'ascesa e la caduta delle civiltà, come la nascita, la vita e la morte di ogni creatura, si conformano alle severe regole della termodinamica del non equilibrio.

Lo storico Joseph A. Tainter, nel suo fondamentale *The Collapse of Complex Societies*, ci fornisce una griglia di riferimento utile alla comprensione della dinamica del crollo delle civiltà. La sua teoria del «rendimento marginale» dovrebbe essere familiare a ogni ingegnere che abbia avuto a che fare con i flussi d'energia e la perdita entropica nelle macchine.

Tainter concorda con White, Soddy, Russell e altri sul fatto che la storia dell'uomo è stata caratterizzata dalla creazione di organizzazioni sociali e tecnologiche sempre più complesse, finalizzate all'appropriazione dell'energia disponibile libera nell'ambiente. Il maggior flusso energetico ha permesso, a sua volta, la crescita degli insediamenti u-

mani. Con l'aumento della popolazione, la vita sociale diviene più intensa e varia, e la cultura progredisce. Quando il flusso d'energia viene improvvisamente ostacolato, le società crollano: l'energia non è più disponibile in un volume sufficiente a sostenere l'incremento demografico, a difendere lo Stato dagli invasori e a mantenere l'infrastruttura interna. Il crollo è caratterizzato dalla riduzione del surplus alimentare, dall'assottigliarsi delle riserve governative, dalla diminuzione del consumo energetico pro capite, dall'usura di infrastrutture critiche come sistemi di irrigazione, strade e acquedotti, dalla crescente intolleranza dei cittadini nei confronti dello Stato, dalla sempre più invadente criminalità, dall'indebolimento dell'autorità centrale, dallo spopolamento delle aree urbane e da sempre più frequenti invasioni e saccheggi da parte di bande di fuorilegge o di eserciti nemici.

Secondo Tainter, il crollo avviene quando una civiltà matura raggiunge la condizione in cui è costretta a spendere una parte sempre più rilevante delle proprie riserve energetiche solo per mantenere la propria complessa organizzazione sociale e, simultaneamente, sperimenta rendimenti decrescenti dell'energia spesa pro capite.

Per esempio, nella giovinezza di una civiltà, l'energia è spesa per arruolare eserciti, dotarli di armamenti e conquistare nuove terre e altri popoli. Il bottino dell'attività militare - schiavi catturati, terre conquistate e tesori confiscati - apporta più energia di quella spesa per procurarselo. In fasi più avanzate dell'evoluzione di una società, spesso lo Stato spende la maggior parte delle proprie riserve energetiche per difendere il proprio territorio dall'invasione e dal saccheggio. Per questa ragione, la spesa energetica è superiore al suo rendimento.

Tainter utilizza il medesimo schema di ragionamento per la produzione agricola. Nelle prime fasi di una civiltà vengono costruiti sistemi di irrigazione, dissodate terre, costruite strade per trasportare il raccolto dalle campagne alle città. La spesa energetica produce un aumento netto

dell'energia disponibile. In fasi più avanzate della storia delle civiltà lo Stato spende risorse solo per mantenere l'esistente infrastruttura di supporto all'agricoltura e l'apparato burocratico di supervisione delle attività pubbliche. Gran parte della spesa energetica è dedicata al mantenimento dello stile di vita delle élite dominanti e di altri membri improduttivi della società. Per «finanziare» la maggiore spesa di energia per la manutenzione, spesso la terra viene sfruttata eccessivamente al fine di assicurare ulteriori incrementi di energia, e questo porta al depauperamento del suolo, all'erosione e alla diminuzione della resa. Una popolazione cresciuta in tempi di ricchezza si trova improvvisamente a dover contare su consumi di energia però capite più ridotti, pur lavorando più a lungo e più duramente. Nel medesimo tempo, lo Stato impone più tasse ai cittadini, per far quadrare il bilancio, peggiorando la situazione. Per evitare il collasso, la società consuma le residue riserve energetiche e le capacità in eccesso in un disperato sforzo di autoconservazione per mantenere il preesistente stato di non equilibrio, avvicinandosi sempre più rapidamente al «punto di svolta». Il disagio sociale, a sua volta, spinge i governanti a spendere le ultime riserve per il mantenimento di una parvenza di legge e ordine, riducendo ulteriormente il flusso d'energia verso il popolo attraverso il sistema. Spesso, nelle fasi finali di una civiltà, tutto il surplus alimentare e le altre importanti risorse energetiche sono confiscati dallo Stato e destinati alla classe militare, esacerbando la rabbia popolare e creando una sorta di circolo vizioso. La popolazione comincia a disgregarsi e spaccarsi in fazioni, avviando il processo di disintegrazione. A questo punto, a meno che non venga trovato un nuovo sussidio di energia - attraverso una conquista o lo sfruttamento di una nuova fonte energetica -, il collasso è assolutamente inevitabile.⁴⁰

L'impero romano rappresenta un eccellente caso per lo studio della politica dell'energia. Sotto molti aspetti - come lo stile di vita e l'organizzazione economica, politica e sociale - la Roma imperiale è molto più simile al mondo moderno che al mondo antico che l'ha generata. E gli avvenimenti relativi alla sua ascesa e caduta sono ancora abbastanza freschi nella memoria storica da poterci offrire un'utile lezione nell'attuale battaglia per il nostro futuro.

Roma doveva la propria grandezza a una superiore capacità di conquista militare. Nel 167 a.C. le armate romane conquistarono la Macedonia, annettendosene il territorio e appropriandosi delle immense ricchezze dei suoi re. Il tesoro reale era così ingente da permettere al governo romano di eliminare la tassazione dei cittadini. Poco dopo, Roma si annette il regno di Pergamo e, nel volgere di brevissimo tempo, il bottino raddoppiò il patrimonio dello Stato. Le conquiste della Siria, nel 63 a.C. e poi della Gallia apportarono ulteriori, incommensurabili ricchezze e oro alle casse dell'impero. Le campagne militari ebbero un successo tale, dal punto di vista economico, che non solo coprirono le spese ma generarono un surplus da destinare alle successive azioni di conquista. Schiavi, riserve minerarie, foreste e terre coltivabili fornivano all'impero un flusso d'energia apparentemente inarrestabile e in continua accelerazione. Il periodo di espansione terminò con la conquista dell'Egitto da parte di Ottaviano Augusto. Le ricchezze conquistate con l'annessione di questo territorio vennero celebrate dall'imperatore con la distribuzione di monete alla plebe romana.

Dopo aver subito alcune sconfitte militari a opera dei Germani e di altri popoli, Roma si ritirò e dedicò le proprie energie alla costruzione di un'infrastruttura che le permettesse di mantenere l'impero. Il passaggio da un regime basato sulla conquista a un regime di colonizzazione si rivelò costoso: senza più i ricavi provenienti dalla conquista di

nuove terre, Roma si trovò priva dei fondi sufficienti a finanziare i servizi più elementari. Per pagare le pensioni ai soldati romani, Augusto istituì «una nuova tassa del *cinque per cento* su tutti i legati e tutte le eredità». Questa misura irritò i cittadini, che durante il periodo repubblicano non avevano mai dovuto contribuire alle casse dello Stato.

Le spese per il mantenimento dell'esercito erano particolarmente onerose. Forze armate perennemente efficienti assorbivano energia dall'impero e sottraevano al popolo i benefici di cui fino a quel momento aveva goduto. I costi per i salari, il vettovagliamento, l'alloggiamento e l'armamento dell'esercito lievitavano continuamente, così come i costi di manutenzione delle opere pubbliche e di mantenimento di un apparato statale elefantico. Al culmine della fase di espansione, anche la previdenza pubblica si era gonfiata a dismisura: durante il regno di Giulio Cesare, circa un terzo dei cittadini romani beneficiavano di una qualche forma di assistenza pubblica. Negli anni fra il 41 e il 54 d.C, oltre 200.000 capifamiglia romani ricevevano gratuitamente il grano dallo Stato.

La conservazione di un vasto impero imponeva anche costi crescenti in termini puramente logistici. Truppe sparse per il Mediterraneo e l'Europa da mantenere, reti stradali da gestire, territori annessi da amministrare assorbivano sempre più energia, mentre il rendimento energetico netto garantito dai territori conquistati diminuiva costantemente. La legge del rendimento marginale decrescente aveva colpito: a Roma, il mantenimento di alcune colonie - per esempio, la Spagna e l'Inghilterra - aveva costi superiori ai ricavi che produceva.

Non più in grado di sostenere l'impero con la conquista e il bottino, Roma fu costretta a prendere in considerazione l'unica altra fonte di energia disponibile: l'agricoltura. La storia della progressiva decadenza di Roma è inestricabilmente intrecciata a quella delle declinanti fortune della produzione agricola.

Nell'immaginario collettivo, la caduta di Roma fu prò-

vocata dalla crisi della sua classe dominante, dalla corruzione dei suoi capi, dallo sfruttamento dei servi e degli schiavi e dalla superiorità tattica delle orde di barbari invasori. Per quanto questi fattori abbiano la loro importanza, la causa profonda del crollo dell'impero romano è stata la diminuzione della fertilità delle sue terre e la riduzione delle rese agricole. Il crollo giunse nel momento in cui l'agricoltura non riuscì più a fornire energia sufficiente per mantenere le infrastrutture dello Stato e il benessere dei suoi cittadini. L'esaurimento dell'unico regime energetico accessibile per l'antica Roma è una parabola che la nostra civiltà dovrebbe considerare con attenzione, nel momento in cui si trova ad affrontare l'esaurimento del petrolio a buon mercato: il combustibile fossile che ha tenuto a galla la nostra società industriale.

All'inizio del dominio romano, l'Italia era coperta da fitte foreste. Alla fine dell'impero, gran parte della penisola e dei territori dell'area mediterranea erano stati completamente disboscati. Il legname era stato venduto sul mercato e la terra convertita al pascolo e all'agricoltura. Il terreno di queste nuove zone deforestate era ricco di minerali e sostanze nutritive e, per un certo periodo, garantì una notevole resa produttiva. Purtroppo, però, la deforestazione lo lasciò esposto all'azione delle forze naturali: il vento soffiava e l'acqua scorreva sulla nuda terra, erodendone lo strato superficiale più fertile; l'eccessivo sfruttamento dei pascoli contribuì a un ulteriore deterioramento del suolo.

Il progressivo declino della fertilità della terra coincise con il momento in cui la Roma imperiale cominciò ad affidarsi all'agricoltura per approvvigionarsi di energia, in sostituzione di quella⁶ derivante dalle azioni di conquista, ormai fortemente rallentate. Durante l'ultimo periodo dell'impero romano l'agricoltura forniva più del 90% delle entrate dello Stato. La produzione di cibo era diventata la chiave di volta della sopravvivenza di Roma.

Garantire sostentamento a una crescente popolazione urbana improduttiva mise ulteriormente sotto pressione i

piccoli agricoltori. La produzione agricola si intensificò per tenere il passo con la domanda di derrate da parte della popolazione urbana e dell'esercito. La terra, superfruttata, diventava sempre meno fertile, e questo indusse a una coltivazione ancora più intensa di un suolo ormai depauperato. I piccoli agricoltori non riuscivano più a ottenere dal terreno esausto un rendimento sufficiente per pagare le tasse (imposte dal governo sulla terra a prescindere dalla resa). Per continuare a lavorare, ai piccoli agricoltori non restava altro da fare che indebitarsi, ma quasi tutto il denaro avuto in prestito serviva per pagare le tasse più che per introdurre migliorie nelle tecniche di coltivazione. Privi di altre fonti di reddito, i contadini dovettero rinunciare a lasciar riposare il terreno, in modo che si rigenerasse; anzi, continuarono a seminare in campi sempre più sterili, ricavandone rese sempre più scarse e innescando una spirale di progressivo indebitamento. La conseguenza fu che i piccoli agricoltori si trovarono costretti a vendere le proprie terre o a lasciarle nelle mani delle istituzioni finanziarie, a copertura di debiti non onorati. In tutta l'Italia e nell'area mediterranea i grandi proprietari fecero incetta di piccoli appezzamenti, creando grandi tenute: i latifondi. Poiché gran parte della terra non era più adatta alla coltivazione, fu convertita a pascolo per l'allevamento del bestiame. Ridotti in miseria e sradicati dalla propria terra, i piccoli coltivatori italiani migrarono verso le grandi città, dove sopravvissero a spese della previdenza pubblica. Nel quarto secolo, più di 300.000 cittadini di Roma ricevevano una qualche forma di sovvenzione pubblica. La crescita della spesa per mantenere lo stile di vita dei ricchi e garantire ai poveri la sopravvivenza, per il finanziamento dei lavori pubblici e della burocrazia di governo, per la costruzione di monumenti, edifici pubblici e anfiteatri, oltre all'onere dell'organizzazione dei giochi e delle parate pubbliche, esercitò sul regime energetico una pressione insostenibile. Lo spopolamento delle campagne fu un fenomeno che si diffuse in tutto l'impero. In alcune

delle province nordafricane e in tutta l'area del Mediterraneo, nel terzo secolo un terzo della terra arabile venne abbandonato.

Lo spopolamento delle campagne ebbe anche un altro effetto: la terra abbandonata non venne più coltivata e curata, sicché i processi di erosione e isterilimento subirono un'accelerazione. Le pianure furono particolarmente colpite dalla massiccia emigrazione dalle campagne. Le zone umide, non più bonificate ogni anno all'inizio della primavera, si trasformarono in paludi. L'ampliamento delle aree paludose fece prosperare le zanzare, che contribuirono alla diffusione della malaria, indebolendo ulteriormente una popolazione già provata e affamata, e assorbendo ulteriori riserve di energia umana.

Nel secondo e terzo secolo d.C. si verificarono epidemie di peste, che in alcune regioni italiane ridussero la popolazione di un terzo. La diminuzione della popolazione significò meno risorse umane a disposizione per coltivare la terra e per soddisfare le esigenze della pubblica amministrazione e dell'esercito. La situazione divenne così drammatica che, per poter disporre di un esercito sufficiente, il governo fu costretto a introdurre di nuovo la leva obbligatoria. Nel 313 l'imperatore Costantino emanò un editto che imponeva ai figli dei militari l'arruolamento, stabilendo per la prima volta l'ereditarietà del servizio militare. Statuti analoghi, promulgati nella prima metà del quarto secolo, sancirono l'ereditarietà dei servizi svolti nella pubblica amministrazione. Nel medesimo periodo, ma con maggiori controversie, Costantino istituì la figura del colono, legando il lavoratore agricolo alla terra sulla quale viveva e introducendo il concetto di servo della gleba. La pratica sarebbe durata fino al grande movimento delle *enclosure*, avviatosi nel Cinquecento nell'Inghilterra dei Tudor, che avrebbe svincolato gli agricoltori dallo stato servile e dal legame con la terra.

tardiva: la popolazione rurale del quarto secolo era talmente ridotta che quei pochi che la legge riuscì a legare alla terra non erano sufficienti a far aumentare la produzione di campi ormai infecondi.

Roma si stava confrontando con la dura realtà imposta dalle leggi della termodinamica. Mantenere infrastruttura e popolazione in uno stato di non equilibrio richiedeva enormi quantità di energia, che il suo regime energetico in via d'esaurimento non poteva garantire. Priva di altre fonti di energia disponibile, Roma aumentò la pressione sul proprio patrimonio energetico. Nel corso del quinto secolo la mole delle burocrazie governativa e militare raddoppiò. Per finanziarle, crebbe il prelievo fiscale, che impoverì ulteriormente la popolazione, soprattutto quella ⁵agricola, numericamente sempre più ridotta. Secondo Tainter, l'impero cominciò a intaccare la propria dotazione di capitale, intesa come «terre produttive e popolazione rurale».

Indebolito da un regime energetico in declino, l'impero cominciò a vacillare. La sua vasta infrastruttura deperì, i servizi fondamentali non poterono più essere assicurati regolarmente e l'esercito non fu più in grado di tenere a bada le orde degli invasori, che cominciarono ad attaccare, a partire dalle province più lontane. Nel sesto secolo gli invasori erano giunti alle porte di Roma. Il grande impero romano era crollato. La popolazione della capitale, che aveva superato il milione di abitanti, si ridusse a meno di 30.000 nel corso del sesto secolo. La stessa città era praticamente un cumulo di macerie: un terribile memento di quanto spietate siano le leggi della termodinamica.

In termini di entropia, il conto da pagare fu salatissimo. L'energia libera e disponibile del Mediterraneo, del Nordafrica e di gran parte del continente europeo, dalla Spagna all'Inghilterra, era stata assorbita dalla macchina romana. Risultato: terre deforestate, suolo eroso e impoverito, popolazioni minate nella salute in ogni angolo dell'impero. All'Europa sarebbero stati necessari seicento anni per risorgere.

Come Roma, le nazioni industriali hanno ormai creato una vasta e complessa infrastruttura tecnologica e istituzionale per individuare e sfruttare l'energia. L'economia industriale globale si fonda quasi esclusivamente sui combustibili fossili per mantenersi in uno stato di non equilibrio altamente ordinato: energia nucleare e risorse rinnovabili contano per meno del 9% del portafoglio energetico dei paesi industrializzati. Ogni aspetto del nostro attuale sistema economico e sociale dipende così strettamente dal petrolio e dal gas naturale che, qualora cominciasse a scarseggiare o a diventare di difficile reperimento, rischieremmo una serie di collassi, potenzialmente destabilizzanti, dei sistemi e sottosistemi di tutto lo spettro della vita moderna. Questi collassi potrebbero avere un feedback, un cosiddetto effetto a cascata, come quello verificatosi nell'antica Roma, per cui ogni tracollo ne alimenta un altro, innescando una spirale perversa e incontrollabile in grado di provocare la distruzione del nostro sistema di vita? L'evoluzione della situazione potrebbe essere così veloce da non lasciarci il tempo per allestire un nuovo regime energetico di portata sufficiente a garantirci il futuro?

In questo momento la vera priorità dovrebbe essere capire l'architettura della nostra attuale infrastruttura, fondata sugli idrocarburi. È fondamentale riuscire a individuare le numerose debolezze strutturali dell'impalcatura che abbiamo costruito per portare l'energia fossile all'interno del sistema industriale. Di questa impalcatura fanno parte non solo le infrastrutture tecnologiche, ma anche quelle economiche, sociali e politiche.

Anche i più ardenti sostenitori dell'energia dei combustibili fossili dubitano che l'era degli idrocarburi sopravvivrà al ventunesimo secolo. Possiamo reinventare la nostra civiltà lungo nuove linee energetiche oppure subire i devastanti assalti alla nostra attuale infrastruttura energetica: dipende solo dalla nostra determinazione a sottoporre l'attuale regime energetico a un radicale ripensamento

e a una revisione. Per riuscire a procedere nella direzione desiderata, dobbiamo sapere esattamente come siamo arrivati fin qui. La domanda fondamentale da porsi, e sulla quale riflettere, è dove abbiamo sbagliato - e perché - nel modo in cui abbiamo sfruttato l'energia nell'era industriale. Trovare la risposta è fondamentale per evitare di ripetere gli stessi errori nella creazione del nuovo regime energetico del ventunesimo e ventiduesimo secolo.

IV

L'era dei combustibili fossili

Se eliminate i combustibili fossili, la moderna civiltà industriale cessa di esistere. Con i combustibili fossili riscaldiamo case e uffici, forniamo energia alle fabbriche, facciamo funzionare i trasporti, illuminiamo le città, comunichiamo a grandi distanze. Con materiali derivati dai combustibili fossili costruiamo palazzi, curiamo malattie, fabbrichiamo i contenitori e gli involucri che proteggono le riserve alimentari, produciamo abiti e oggetti domestici. Quasi tutti gli aspetti dell'esistenza moderna sono in qualche modo costituiti, alimentati o condizionati dai combustibili fossili.

Nei primi anni del Novecento, negli Stati Uniti e negli altri paesi industriali il petrolio è subentrato al carbone nel ruolo di combustibile più importante nel regime energetico fondato sui combustibili fossili. La quota principale dei consumi di petrolio riguarda i mezzi di trasporto: circa un terzo del fabbisogno globale annuo. Attualmente, al mondo ci sono 520 milioni di automobili, 132 dei quali solo negli Stati Uniti. Nello stesso paese circolano anche 1,9 milioni di autocarri, 715.000 autobus e 21.000 locomotive. Nel mondo si contano 11.000 velivoli commerciali, 28.070 navi e 1,2 milioni di imbarcazioni da pesca, tutti alimentati da derivati del petrolio.

Negli Stati Uniti il secondo consumatore di petrolio e derivati è l'industria, con il 23% del totale. Più di un quarto di questo petrolio è impiegato come materia prima nel settore chimico.³ I prodotti petrolchimici sono utilizzati per fabbricare migliaia di articoli, dalle componenti degli appa-

recchi televisivi ai farmaci. Il 6% del petrolio è destinato al riscaldamento domestico e dei locali a uso commerciale, il 4% per generare energia elettrica nelle centrali.

Il petrolio è fra le sostanze più versatili esistenti in natura. Un barile di petrolio può produrre

benzina a sufficienza per far viaggiare un'automobile di media cilindrata per più di 300 chilometri; gasolio quanto basta a un camion per un viaggio di circa 60 chilometri... gas liquido per 12 piccole bombole da campeggio, poco meno di 70 kilowatt in una centrale elettrica ... asfalto a sufficienza per 4 litri di catrame, circa 2 chili di carbonella, cera per circa 170 candeline di compleanno o 27 pastelli, e lubrificanti per circa 1 litro di olio motore.

La trasformazione verso una civiltà fondata sui combustibili fossili è avvenuta più rapidamente di qualsiasi altro cambiamento di regime energetico verificatosi nella storia del mondo. Solo centotrent'anni fa, negli Stati Uniti, i tre quarti del fabbisogno totale di combustibile erano costituiti dal legname, utilizzato non solo per il riscaldamento ma anche come carburante per battelli a vapore e locomotive ferroviarie. La maggior parte delle attività industriali del tempo si rifornivano di energia attraverso mulini a vento o ad acqua. Nel 1890, furono estratte complessivamente meno di 10 milioni di tonnellate di petrolio, trasformato prevalentemente in kerosene, usato per l'illuminazione. All'inizio del Novecento il petrolio forniva ancora meno del 4% dell'energia consumata nel mondo. Ai tempi della crisi petrolifera araba, negli anni Settanta, ogni anno si estraevano 2500 milioni di tonnellate di greggio: un incremento di duecento volte in settant'anni. Oggi, più dell'85% del fabbisogno energetico mondiale è coperto dai combustibili fossili: il 40% dal petrolio, il 22 dal carbone e il 23 dal gas naturale. L'energia nucleare e quella idroelettrica forniscono un ulteriore 7% ciascuna, mentre soltanto l'1% è l'apporto dell'energia geotermica, solare, eolica, o prodotta dalla combustione di legno e di scorie. Dall'inizio dell'era degli idrocarburi, il fabbisogno energetico mondiale è aumentato di settanta volte.⁸

La storia vera

Agli scolari viene raccontato che fu un giovane genio, James Watt, a dare il via all'era dei combustibili fossili e alla rivoluzione industriale, inventando il motore a vapore alimentato a carbone. E che il motore a vapore, a sua volta, aprì la strada ai tempi moderni del progresso materiale e di uno sviluppo della civiltà umana senza uguali nella storia. Le cose non stanno propriamente così: la storia di come il mondo abbia adottato il carbone e il motore a vapore, aprendo la porta all'era dei combustibili fossili, è un po' più complessa.

L'Europa medievale si era basata a lungo sul legname come fonte primaria di energia. Il fitto manto di foreste che copriva l'Europa occidentale e settentrionale forniva quella che pareva essere una riserva energetica inesauribile. Ma già nel Trecento il legname cominciava a scarseggiare. I nuovi progressi dell'agricoltura, fra cui le tecniche di drenaggio, l'aratro a croce e il tiro a cavalli per l'aratura, l'introduzione della rotazione a tre campi contribuirono a far crescere rapidamente la quantità di terra coltivata e la produzione alimentare. Il surplus alimentare condusse a un aumento della popolazione umana che, a sua volta, esercitò una maggior pressione sugli agricoltori, inducendoli a sfruttare più intensamente i terreni arabili e a deforestare altre terre marginali per destinarle alla coltivazione. Nel Trecento l'Europa dovette affrontare un problema di entropia non dissimile da quello con cui fu costretta a misurarsi la Roma imperiale nel secondo, terzo e quarto secolo d.C. Una popolazione in crescita stava sfruttando le risorse energetiche a disposizione molto più rapidamente di quanto potessero essere ricostituite dalla natura. La diffusa deforestazione e l'erosione progressiva del suolo generarono una crisi energetica. Lo storico William H. McNeill scrive:

Col XIV secolo molte zone dell'Europa nordoccidentale avevano raggiunto una sorta di saturazione demografica. La grande e improvvisa espansione delle frontiere che iniziò intorno al 900 condusse a una proliferazione dei manieri e dei campi su tutta la superficie

della terra finché, almeno nelle regioni più densamente popolate, non rimasero che scarse foreste. Poiché le zone boschive erano vitali come fonte di combustibile e di materiali da costruzione, la crescente penuria creò gravi problemi per gli insediamenti umani.

Per la società medievale, la scarsità di legname era un problema analogo a quello della carenza di petrolio nella società contemporanea. Come il petrolio, il legname era una risorsa energetica totale, sfruttata per centinaia di impieghi. Lo storico Lewis Mumford elenca alcuni degli usi in cui, all'epoca, veniva adoperato il legname.

Gli arnesi del carpentiere, ad eccezione delle lame, erano di legno, e così i rastrelli; il giogo dei buoi, il carro, la vasca da bagno, il martello, la scopa e, in certe parti d'Europa, gli zoccoli del povero. Il legno serviva al contadino ed al tessitore: il telaio e l'arcolaio, i torchi dell'olio e del vino erano di legno ed il torchio da stampa si fece di legno per tutto un secolo dopo la sua invenzione. Le stesse tubazioni che portavano acqua alle città erano spesso costituite da tronchi di legno, e così pure i cilindri delle pompe ... Naturalmente le navi erano fatte e tenute insieme col legno, ... [come] buona parte delle macchine introdotte nella successiva era industriale.

Mumford riassume l'importanza del legno nel regime energetico medievale osservando che «come materiale grezzo, come attrezzo, come macchina utensile, come motore, come strumento, come combustibile e come prodotto finito il legno era la più grande risorsa industriale».

Nel Quattrocento il disboscamento era reso necessario soprattutto dalla necessità di mettere a coltura nuove terre. Nel Cinquecento e nel Seicento il processo si accelerò, data la crescente domanda di carbone di legna da parte di piccole attività per la produzione, fra l'altro, di vetri e saponi. In Inghilterra la più forte pressione per la deforestazione provenne dal fabbisogno sempre più ingente della flotta. La produzione di ferro e le costruzioni navali richiedevano quantitativi enormi di legname. I ripetuti tentativi di regolamentare il taglio di boschi e foreste si rivelarono inutili. Intorno al 1630, il legno era diventato due volte e mezzo più caro rispetto alla seconda metà del quindicesimo secolo.¹²

A poco a poco il carbone si sostituì alla legna, dapprima in Inghilterra, poi nel continente. Cominciò a prendere piede un nuovo regime energetico. Ma è necessario sottolineare come il passaggio al carbone non sia stato accolto favorevolmente. Anzi, è vero il contrario. Il carbone era considerato una fonte energetica di qualità inferiore, difficile da estrarre, trasportare e conservare, sporco da manipolare e inquinante nella combustione. Edmund Howes lamentava che «i cittadini in generale [fossero] costretti ad alimentare i propri camini con carbone fossile o torba, perfino nelle case delle persone più rispettabili». Comunque, già nel Settecento il carbone aveva sostituito la legna come fonte primaria di energia, almeno in Inghilterra. E, a metà Ottocento, l'intera Europa aveva cominciato a convertirsi al medesimo regime.

L'estrazione del carbone era una faccenda complicata. Dopo aver esaurito i giacimenti più facilmente accessibili, in prossimità della superficie, i minatori cominciarono a scendere nelle viscere della terra. A una certa profondità, si raggiungevano le falde acquifere e il drenaggio costituiva un serio ostacolo all'estrazione. Nel 1698 Thomas Savery brevettò la prima pompa a vapore, offrendo ai minatori uno strumento per prosciugare le gallerie allagate ed estrarre, quindi, il carbone anche da grandi profondità.

Il carbone era molto più pesante e ingombrante del legname: non era facile trasportarlo con carri a cavalli su strade sterrate. Il peso del carro, soprattutto durante i periodi di pioggia con le strade fangose, rendeva il viaggio pressoché impossibile. Inoltre, le pariglie di cavalli diventavano sempre più costose come mezzo di trasporto delle merci: con la terra coltivabile che si faceva sempre più scarsa, il foraggio per i cavalli era troppo caro. La risposta al problema del trasporto venne dalla locomotiva a vapore, che correva su rotaie e aveva ruote di ferro. La locomotiva a vapore fu una delle prime macchine dell'era dei combustibili fossili, l'antesignana di una nuova epoca.

Siamo abituati a pensare al progresso materiale come a

un flusso ininterrotto di idee nuove e migliori, che sostituiscono vecchi e primitivi sistemi di fare le cose. In realtà, il progresso umano è più simile a un processo di prova ed errore, e spesso è motivato dalla disperazione. Alla fine, la «necessità» si rivela essere la più probabile «madre di tutte le invenzioni». E, come dimostra il passaggio dalla legna al carbone, il cambio di regime energetico è spesso considerato, nelle sue prime fasi, un onere e un fastidio. Questo perché l'uomo cerca sempre di sfruttare per prima la fonte di energia più facile da utilizzare. Finché i nostri antenati cacciatori-raccoglitori hanno avuto a disposizione energia in abbondanza sotto forma di frutti e animali selvatici, non hanno avvertito la necessità di adottare il più duro stile di vita agricolo. Analogamente, le foreste erano una fonte d'energia molto più facile da sfruttare, trasformare e utilizzare che non il carbone. Analizzando la storia della civiltà umana da un punto di vista energetico, lo storico Richard Wilkinson fa questa illuminante osservazione:

Nel corso dello sviluppo economico l'uomo è stato ripetutamente costretto a cambiare le risorse da cui dipendeva e i metodi che utilizzava per sfruttarle. Si è dovuto progressivamente impegnare in tecniche di trasformazione e di produzione sempre più complicate, passando dalle risorse più facilmente sfruttabili a quelle meno accessibili ... Nel più vasto contesto ecologico, lo sviluppo economico è lo sviluppo di metodi sempre più intensivi di sfruttamento dell'ambiente naturale.

Il carbone, per esempio, è una fonte d'energia disponibile più accessibile e facile da sfruttare del petrolio e del gas naturale. Ecco perché, con il passaggio delle società da risorse più facilmente accessibili a forme di energia più difficili da scoprire e trasformare, le infrastrutture tecnologiche, economiche e sociali devono, per necessità, diventare più complesse, gerarchiche e centralizzate.

La nostra civiltà, fondata sul petrolio, ha creato il sistema di trasformazione dell'energia più centralizzato e gerarchizzato della storia del mondo: un complesso organismo sociale non in equilibrio, alimentato da un flusso di

petrolio diffuso in ogni sua arteria. Per quanto abbia avuto un grande successo per coloro che ne hanno direttamente beneficiato, è giusto rammentare che lo stile di vita industriale rischia di essere distrutto dalla stessa complessità che lo ha reso possibile. Questo perché l'organismo sociale, come ogni organismo, agisce come unità: ogni sottosistema di questa civiltà industriale altamente organizzata è completamente dipendente dal flusso continuo di nuova energia - sotto forma di petrolio o, in misura più limitata, di carbone e gas naturale - attraverso il proprio ambiente interno, esattamente come una creatura vivente ha bisogno della continuità del flusso di sangue nel proprio corpo per poter esistere. Se il flusso di petrolio rallenta, l'intero organismo si indebolisce.

Il settore petrolifero è stato a lungo associato alla romantica immagine di avventurosi geologi che vagano alla ricerca di giacimenti, e di imprenditori senza scrupoli appostati nell'ombra, pronti a ingannarli a proprio vantaggio. Tutto questo è senz'altro vero. Ma la saga del petrolio è anche la storia del progressivo realizzarsi di un regime energetico estremamente complesso e fragile, così centralizzato nelle sue linee di comando e nella struttura di controllo da essere assai più esposto al decadimento o a un improvviso crollo di qualsiasi altra infrastruttura energetica del passato.

La nascita del petrolio

Del petrolio, la prima cosa da tenere a mente è che la sua distribuzione nel mondo è diseguale. Gli USA divennero la principale potenza industriale del Novecento soprattutto perché avevano ricchi giacimenti petroliferi. Analogamente, il successo della Gran Bretagna agli albori dell'era industriale era, in buona parte, attribuibile agli immensi giacimenti di carbone presenti nel suo sottosuolo.

Anche se oggi non pensiamo più agli Stati Uniti come a una potenza petrolifera, non dobbiamo dimenticare che, per i primi settant'anni del ventesimo secolo, i pozzi di pe-

il petrolio texano era il simbolo della grandezza americana quanto la catena di montaggio Ford. L'accesso a risorse energetiche vitali è sempre stato un fattore critico per il successo delle nazioni. Benché noi occidentali facciamo fatica a immaginarlo, quasi la metà degli esseri umani - cioè oltre 2 miliardi e mezzo di persone - utilizzano ancora come principale combustibile legname, sterco animale e residui vegetali.

Il 27 agosto 1859 Edwin L. Drake - ferroviere in pensione che si millantava «colonnello» - nei pressi della cittadina di Titusville, in Pennsylvania, trovò il petrolio con una trivella artigianale a una profondità di circa 12 metri. Da quel pozzo, il petrolio fluiva in superficie al ritmo di 20 barili al giorno. Era iniziata l'età dell'oro nero.

Il nascente settore petrolifero fu notevolmente favorito nel suo sviluppo dalla guerra di Secessione. Il greggio era utilizzato per produrre lubrificanti per macchinari, olio per lampade e succedanei della trementina per l'esercito. (Il petrolio non era ancora utilizzato come carburante per le locomotive.) Nel 1865, alla fine della guerra civile, il petrolio veniva estratto negli Stati della West Virginia, New York, Ohio e, più a ovest, in Colorado e in California. A Pittsburgh c'erano cinquantotto raffinerie di petrolio, a Cleveland trenta, e altre erano sparse lungo la costa orientale; per la maggior parte, producevano kerosene per lampade.

Nel 1868 John D. Rockefeller, un ex impiegato contabile di Cleveland, fondò la Standard Oil Company of Pennsylvania. Rockefeller capì che per avere successo nel settore petrolifero non bastava controllare i pozzi, ma era necessario possedere anche le raffinerie, controllare il trasporto e la commercializzazione del prodotto finito. Si dedicò, così, a stringere favorevoli accordi con le ferrovie e, più tardi, alla costruzione di oleodotti. Già nel 1879, la Standard Oil controllava circa il 95% della capacità di raffinazione del paese. Rockefeller iniziò ad acquistare anche giacimenti, con l'idea di integrare verticalmente ogni aspetto della produzione petrolifera. La sua attività si

espanse così in fretta che, appena qualche anno dopo (1882), Rockefeller aveva consolidato le sue vaste proprietà con la creazione della Standard Oil Company of New Jersey, in cui conferì (come in una moderna holding) le azioni di decine di imprese produttive. Nel 1906 il suo controllo sul flusso d'energia negli Stati Uniti era tale da suggerire al governo di perseguire la Standard Oil per infrazione allo Sherman Antitrust Act, la legge che nel mercato americano tutela la concorrenza.²Nel 1911 la Corte suprema degli Stati Uniti ordinò la frammentazione dello Standard Oil Group e la cessione di tutte le azioni di società sussidiarie possedute dal gruppo. La sentenza ebbe modesti effetti a lungo termine: dopo che la holding fu smembrata vennero costituite società operative nei diversi Stati in cui erano attive. Molti degli uomini che possedevano azioni della holding continuavano a detenere quelle delle singole società. Il collocamento sul mercato di parte di queste azioni fece accedere milioni di piccoli investitori alla proprietà delle società derivanti dallo smembramento della Standard Oil.

Nel frattempo, altre società petrolifere si erano costituite seguendo il modello ideato da Rockefeller. Ciascuna di queste era un'azienda energetica integrata che possedeva pozzi, oleodotti e raffinerie, e controllava sia la distribuzione sia la commercializzazione del prodotto, fino alla stazione di servizio. Negli anni Trenta esistevano già tutte le società che sarebbero divenute il simbolo del più potente settore industriale del mondo: Standard Oil of New Jersey, Gulf Oil, Humble, Atlantic Refining Company, Sinclair, Standard Oil of Indiana, Phillips 66, Sucony, Sun, Union 76 e Texaco. Nel complesso, ventisei società possedevano i due terzi del capitale produttivo del settore, il 60% delle attività di trivellazione, il 90 degli oleodotti, il 70 delle raffinerie e l'80 delle reti di distribuzione.

Nei primi anni del Novecento, due eventi portarono il petrolio al centro della vita americana e fecero dell'America il più potente paese del mondo. Il primo fu l'invenzio-

he del motore a combustione interna; il secondo, il ruolo giocato dal petrolio nella vittoria degli Stati Uniti e dei loro alleati nelle due guerre mondiali.

La nuova mobilità

I primi uomini che riuscirono a montare un motore a combustione interna su ruote furono i tedeschi Karl Benz e Gottlieb Daimler. Il loro carro senza cavalli debuttò nel 1885. Il suo motore era alimentato a benzina, un derivato della raffinazione del petrolio. Sebbene il motore fosse un'invenzione tedesca, fu Henry Ford, con la produzione in serie e la catena di montaggio che sfornava milioni di automobili a benzina a prezzi accessibili, a fare del petrolio e dell'automobile le chiavi di volta di una nuova epoca.

La prima stazione di servizio sul territorio degli Stati Uniti aprì i battenti a Detroit, nel 1911. La stupefacente velocità di produzione delle automobili colse il settore petrolifero di sorpresa: nel tentativo di tenere il passo con una domanda quasi insaziabile di benzina, le compagnie petrolifere estesero le attività di esplorazione, aprendo nuovi pozzi quasi ogni settimana. Nel 1916, sulle strade degli Stati Uniti circolavano già 3,4 milioni di auto; appena quattordici anni dopo, addirittura 23,1 milioni.

L'automobile divenne il fulcro del capitalismo industriale nei successivi decenni del Novecento: la sorte di molti altri settori industriali si legò a doppio filo a quella del settore automobilistico. In quest'ultimo venivano utilizzati «il 20% dell'acciaio, il 12% dell'alluminio, il 10% del rame, il 51% del piombo, il 95% del nickel, il 35% dello zinco e il 60% della gomma consumati negli Stati Uniti».

Gli industriali erano eccitati per le immense opportunità commerciali che l'automobile aveva aperto. Nel 1932 un analista scrisse:

Pensate alle conseguenze che può avere per il mondo industriale l'immissione sul mercato di un prodotto che raddoppia il consumo di ferro, triplica quello di vetro in lastra, quadruplica quello della

gomma! ... Come consumatrice di materie prime, l'automobile non ha uguali nella storia del mondo.

L'automobile mise milioni di persone *on the road*, unì la campagna alla città e diffuse la cultura «suburbana», che minò alla base i concetti tradizionali di comunità e vicinato. E, più di ogni altra invenzione del Novecento, accelerò il ritmo della vita, facendo della velocità e dell'efficienza le più acclamate virtù della nostra epoca.

La produzione automobilistica è stata la maggiore responsabile dell'incredibile crescita economica verificatasi negli Stati Uniti nei primi tre decenni del Novecento, e in Europa e Asia dopo la seconda guerra mondiale. Ma fu il petrolio a renderla possibile. Lo statista britannico Ernest Bevin osservò: «Il regno dei cieli potrà anche fondarsi sulla giustizia, ma quelli terreni si fondano sul petrolio».

Fu l'automobile a rendere indispensabile il petrolio per la vita economica e sociale del Novecento, ma furono le due guerre mondiali a convincere i politici della sua importanza strategica negli affari internazionali. Nel primo decennio del nuovo secolo il governo del Kaiser si lanciò nell'impresa di superare in potenza la flotta britannica d'alto mare. Nel 1911 il giovane politico inglese Winston Churchill fu nominato Primo Lord dell'Ammiragliato con l'incarico di fronteggiare la minaccia tedesca. Churchill era ben consapevole di cosa significasse mantenere la superiorità navale britannica, al punto che si riferisce abbia detto: «La sorte della nostra stirpe e dell'impero, l'intero patrimonio accumulato in tanti secoli di sacrificio e di impegno, verrebbero distrutti e spazzati via se venisse meno la nostra superiorità navale».

Churchill si convinse ben presto che, in qualsiasi conflitto futuro, la chiave della vittoria sulla Germania sarebbe stata la conversione della flotta britannica dal carbone al petrolio. Le navi alimentate con derivati del petrolio sarebbero state più veloci, avrebbero richiesto la presenza di un minor numero di uomini in sala macchine, avrebbero avu-

to un raggio d'azione più ampio e avrebbero potuto essere rifornite, se necessario, anche in alto mare. Churchill convinse il governo Britannico a finanziare una flotta di navi alimentate da derivati del petrolio. Nel 1912 il governo inglese approvò la commessa delle prime cinque navi da guerra a petrolio, una decisione che di lì a pochi anni, nel corso della prima guerra mondiale, si sarebbe rivelata determinante per la vittoria degli Alleati sulla Germania.

Parallelamente all'impegno di rinnovamento della flotta, con l'adozione del nuovo carburante, Churchill e gli alti comandi militari britannici si diedero da fare per garantirsi una costante disponibilità di petrolio. All'epoca, il mercato petrolifero europeo era dominato dalla Royal Dutch Shell. Temendo che tale azienda potesse finire sotto l'influenza o il controllo dei tedeschi, Churchill convinse il governo a investire in una compagnia petrolifera nazionale britannica, la³⁰Anglo-Persian, che diventò così a partecipazione statale. Inoltre, con tale azienda il governo negoziò segretamente un contratto di fornitura ventennale all'Ammiraglio.

Il motore a combustione interna alimentato a benzina ebbe un ruolo di rilievo nell'assicurare la vittoria nel conflitto, tanto sulla terraferma quanto in mare. L'esercito britannico inventò un veicolo corazzato cingolato, dotato di un motore a combustione interna: questo nuovo veicolo, che sarebbe passato alla storia con il nome di «tank» o «carro armato», era in grado di attraversare i reticolati di filo spinato e di travolgere le pur munite trincee nemiche, modificando i rapporti di forza sul campo di battaglia.

La prima guerra mondiale vide anche il battesimo del fuoco di motociclette, jeep e autocarri; più veloci e di più facile gestione rispetto ai cavalli, più flessibili della ferrovia nel trasportare truppe e vettovaglie verso il fronte, questi nuovi veicoli diedero agli Alleati un vantaggio considerevole sulle forze dell'Intesa.

Nella Grande Guerra, l'aeroplano alimentato a benzina fu usato per ricognizione e combattimento da entrambe le

parti. Alla fine del conflitto, più di 200.000 aerei erano stati costruiti e resi operativi, trasformando il concetto stesso di guerra. Da quel momento in poi, si poteva combattere anche dal cielo.

Nel 1918, solo pochi giorni dopo la firma dell'armistizio, gli alti ufficiali britannici si riunirono a Londra per la Inter-Allied Petroleum Conference, al fine di riflettere sull'importanza del petrolio nello sforzo bellico. Lord Curzon, il presidente, proclamò che il petrolio era stato «la linfa della vittoria» della causa alleata.

L'accesso al petrolio fu ancor più determinante nella seconda guerra mondiale. Si può, anzi, affermare che l'intera strategia bellica era incardinata sul controllo delle riserve strategiche di petrolio. Poco dopo essere salito al potere, Adolf Hitler si attivò per assicurare alla Germania una regolare fornitura petrolifera per alimentare la macchina bellica tedesca, in via di ricostituzione dopo la sconfitta del 1918. Hitler pensava a un esercito più moderno, meno dipendente dalla forza bruta della truppa, caratterizzato dalla mobilità e dalla fulminea velocità dei mezzi corazzati. La *Blitzkrieg* divenne il paradigma dell'azione militare tedesca sul campo di battaglia. Senza petrolio, questo sogno non si sarebbe mai potuto realizzare. Il problema era che la Germania, sebbene ricca di giacimenti carboniferi, non disponeva di riserve petrolifere proprie. Hitler aveva capito che la dipendenza da veicoli militari alimentati a carbone era costata alla Germania la sconfitta nella prima guerra mondiale ed era ben deciso a non ripetere lo stesso errore.

Il governo tedesco individuò due soluzioni al problema del petrolio: primo, sviluppare in Germania un'industria di combustibili sintetici; secondo, scendere in guerra contro l'Unione Sovietica per assicurarsi l'accesso ai ricchi giacimenti petroliferi di Baku, nel Caucaso.

Alla fine degli anni Trenta, negli Stati Uniti il petrolio aveva già superato il carbone come principale fonte d'energia, mentre in Germania, alla vigilia della seconda guerra

mondiale, il carbone forniva ancora il 90% dell'energia. Nei primi anni del secolo i chimici tedeschi erano riusciti a estrarre dal carbone un combustibile liquido, creando così il primo carburante sintetico, ma il processo produttivo era costoso e non poteva competere con il basso prezzo del greggio sui mercati mondiali. Hitler non si lasciò influenzare. Nel 1936, con l'aiuto del colosso chimico IG-Farben, lanciò un ambizioso programma per lo sviluppo del settore dei combustibili sintetici, proclamando che «questo compito va gestito ed eseguito con la stessa determinazione di un'azione bellica, dato che dal suo successo dipende l'andamento delle guerre future». Nel 1940 le raffinerie tedesche producevano 72.000 barili di combustibile sintetico al giorno, quasi il 46% del fabbisogno nazionale di idrocarburi. Nel 1944 l'industria dei combustibili sintetici copriva il 57% del fabbisogno energetico militare, incluso il 92% dei carburanti per l'aviazione.

Assicurarsi la rimanente parte del fabbisogno petrolifero si rivelò più difficile e costoso. Alla disperata ricerca di una fonte di approvvigionamento, il 22 giugno 1941 la Germania invase l'Unione Sovietica. Hitler confidava che una rapida vittoria gli avrebbe garantito l'accesso ai giacimenti di Baku, in grado di fornire petrolio sufficiente a vincere la guerra. Nel corso degli interrogatori a cui fu sottoposto dagli Alleati nel 1945, Albert Speer, il ministro tedesco per gli Armamenti e la produzione bellica, ammise che «il bisogno di petrolio fu uno dei principali motivi» della decisione tedesca di invadere l'URSS.

La resistenza sovietica, però, riuscì a bloccare l'avanzata tedesca. Nell'agosto del 1942 l'esercito hitleriano raggiunse i campi petroliferi di Majkop, nel Caucaso, solo per scoprire che i russi avevano già fatto saltare i pozzi e gli impianti di raffinazione. A corto di carburante e lontani da casa, i tedeschi non furono in grado di sconfiggere l'Armata Rossa e di prendere Grozny, il cuore petrolifero del Caucaso.³⁶ Per colmo di ironia, nota Daniel Yergin, i tedeschi esaurirono il petrolio proprio andando a cercarlo.³⁷ Veden-

dosi chiusa questa strada, il governo nazista si concentrò sulla produzione nazionale di combustibili sintetici, comunque insufficienti a sostenere lo sforzo bellico.

Anche l'attacco giapponese a Pearl Harbor, nel 1941, lo stesso anno dell'invasione tedesca della Russia, fu quasi esclusivamente motivato dalla necessità di assicurarsi l'accesso alle riserve petrolifere necessarie per alimentare la macchina bellica. Gli Stati Uniti e le Indie Orientali olandesi - corrispondenti all'attuale Indonesia - erano i principali fornitori di petrolio del Giappone. Quando il governo di Tokyo decise di invadere l'Indocina meridionale, nel luglio del 1941, inglesi, olandesi e americani imposero immediatamente un embargo sulle esportazioni di petrolio verso il paese del Sol Levante. Con riserve petrolifere in progressivo esaurimento, il Giappone maturò la decisione di attaccare a sorpresa gli americani a Pearl Harbor. L'obiettivo era la distruzione totale della flotta USA nel Pacifico, così da potersi impadronire dei giacimenti petroliferi delle Indie Orientali. Il piano ebbe successo. Ma, con l'evolvere del conflitto, il governo statunitense riuscì a guadagnarsi la superiorità aerea nel Pacifico: nel 1944 gli aerei americani distruggevano le navi cisterna giapponesi più rapidamente di quanto potessero essere sostituite. In quell'anno il flusso di petrolio verso il Giappone diminuì del 50%, per cessare praticamente del tutto nel 1945. Senza più petrolio per le operazioni militari, ai giapponesi non rimase che alimentare gli aerei con un combustibile estratto dalle radici di pino, e i veicoli ^{su}ruote con il carbone. L'esito della seconda guerra mondiale può essere ridotto al semplice fatto che gli Alleati controllavano l'86% della produzione mondiale di petrolio.

L'impero del petrolio

Quando si considera l'industria petrolifera globale, la prima cosa alla quale si pensa è l'oligopolio delle grandi imprese petrolifere, il *Big OH*. Il settore petrolifero è la mag-

giore industria del mondo, con un giro d'affari stimato fra i 2000 e i 5000 miliardi di dollari. ° Il settore è costituito da un vasto complesso che include i pozzi petroliferi, le piattaforme di trivellazione sottomarina, migliaia di chilometri di oleodotti, gigantesche petroliere, raffinerie, sistemi informatici per la gestione del flusso di carburante verso gli utenti finali, stazioni di servizio e migliaia di aziende, grandi e piccole, che realizzano prodotti petrolchimici: dai fertilizzanti ai materiali plastici, dai lubrificanti ai farmaci. Per la maggior parte delle nazioni, il petrolio è la voce più rilevante della bilancia dei pagamenti. Tre delle sette maggiori società quotate del mondo sono aziende energetiche. Nella classifica delle prime cinquecento società del mondo, stilata annualmente dalla rivista «Fortune», Exxon Mobil è al secondo posto, con un fatturato di 213 miliardi di dollari. ^

Nel biennio 1999-2000 abbiamo assistito alla nascita di quelle che gli analisti del settore hanno definito le società energetiche *super major*. BP si è fusa con Amoco e Arco, Exxon con Mobil, Total con Elf, Chevron con Texaco. Questa serie di fusioni da 200 miliardi di dollari sta trasformando il *Big OH* in *Colossal OH*: le aggregazioni in corso fra le maggiori compagnie petrolifere private hanno dato vita a entità in grado di competere, per dimensioni, con le compagnie petrolifere statali, fra le quali Saudi Aramco, Petroleos de Venezuela, l'iraniana NIOC e la messicana Pemex. Le prime controllano gran parte del mercato a valle: oggi Exxon Mobil, Royal Dutch/Shell, BP e Total Fina Elf si sono assicurate il 32% delle vendite sul mercato globale e il 19% della capacità di raffinazione. Le seconde controllano gran parte del mercato a monte: Saudi Aramco, Petroleos de Venezuela, NIOC e Pemex producono il 25% del petrolio mondiale e detengono il 42% delle riserve. Complessivamente, una decina di *super major* e compagnie petrolifere nazionali dominano il mercato globale dell'energia.

Negli Stati Uniti, cinque società - Exxon Mobil, Chevron-Texaco, BP Amoco-Arco, Phillips-Tosco e Marathon - con-

frollano il 41% dell'esplorazione e dell'estrazione, quasi il 47% della raffinazione e il 61% del mercato al dettaglio. I profitti netti di queste società sono cresciuti dai 16 miliardi di dollari del 1999 ai 40 del 2000, con un incremento del 146% in un solo anno. Il profitto netto delle stesse società, nel primo trimestre 2001, è aumentato ulteriormente passando da 8,7 miliardi di dollari dell'ultimo trimestre del 2000 a 12, con un incremento del 38% in soli tre mesi. La crescita dei profitti delle grandi compagnie petrolifere è in netto contrasto con la diminuzione media del 43% dei profitti netti registrata dalle altre 1400⁷ grandi aziende americane nel primo trimestre del 2001. Per giustificare questo calo di redditività, le imprese evidenziano l'aumento del costo del lavoro e dell'«energia». Le poche società che oggi controllano il flusso dell'energia attraverso il sistema economico sono nella condizione di dettare i termini dell'attività svolta da tutte le altre aziende che vi partecipano. In un'economia sempre più controllata, tanto all'interno quanto a livello globale, da un ristretto numero di grandi aziende, in tutti i settori e in ogni campo, le società energetiche si collocano al vertice della piramide, in quanto dispensatrici di ciò che rende possibile l'attività economica stessa.

Scoprire, estrarre, trasportare, raffinare e distribuire il petrolio e i suoi derivati sono attività complesse e costose. Solo le maggiori aziende del mondo - quelle dotate delle più ingenti risorse - hanno la capacità finanziaria di gestire l'intero processo, dal pozzo alla pompa di benzina. Si consideri, a titolo esemplificativo, il cosiddetto indice di attivazione, cioè «la misura dell'investimento totale necessario per rendere sfruttabile un nuovo giacimento di petrolio, espresso in dollari per barile per giornata di produzione stabilizzata». Nel 1999 l'Iraq annunciò di voler triplicare la propria produzione petrolifera, passando da 2 a 6 milioni di barili al giorno; il costo per finanziare questo incremento della produzione si aggirava sui 30 miliardi di dollari, pari a un costo di sviluppo di 7500 dollari per barile di petrolio per giorno di produzione;⁴⁹ l'indice di attivazione medio

mondiale nel 1999 era di 2000 dollari per barile al giorno, ma in alcune situazioni, come nelle trivellazioni a grandi profondità nel golfo del Messico, raggiungeva i 9000 dollari. Ci si aspetta che, nei prossimi dieci anni, l'investimento totale in conto capitale per l'esplorazione e la produzione di petrolio a livello mondiale raggiunga i 1000 miliardi di dollari. Le grandi aziende come Exxon Mobil, BP-Amoco e Shell realizzano, ciascuna, profitti superiori a quelli dell'Arabia Saudita. Le maggiori compagnie energetiche del mondo investono normalmente un miliardo di dollari, o più, per megaprogetti come le trivellazioni in alto mare. Nel 1999 le prime otto compagnie petrolifere private del mondo hanno finanziato più dell'80% della spesa di ricerca e sviluppo per l'esplorazione e la nuova produzione.

Proviamo a immaginare quanto impegnativa e complessa debba essere l'infrastruttura tecnologica e di supporto alla manipolazione, alla trasformazione e al trasporto di milioni di barili di petrolio ogni giorno, in tutto il mondo, fin nei più minuti dettagli della vita quotidiana, evitando ritardi e interruzioni del flusso: ci sono infiniti sistemi e sottosistemi, e tutti devono essere coordinati per garantire un flusso costante di energia. Il geologo Robert O. Anderson paragona questo processo al gigantesco fluire di «un Rio delle Amazzoni di petrolio».

L'industria dell'energia richiede una varietà di professionalità e di tecnologie superiore a quella di qualsiasi altro settore industriale. L'esplorazione impone il ricorso a satelliti e specifiche competenze geologiche, geochimiche e geofisiche; per raccogliere dati dalle riflessioni sismiche e creare immagini sismiche tridimensionali delle viscere della terra si ricorre a software e computer sofisticati. Trivellare pozzi che possono raggiungere profondità superiori ai 6000 metri impone l'uso di apparecchiature complesse. Le piattaforme di trivellazione d'alto mare sono moderne meraviglie ingegneristiche, progettate per resistere a tempeste, fortuali e uragani. Analizzare il pozzo di trivellazione e i carotaggi delle rocce - un'attività che i

geologi chiamano *logging* del pozzo - può richiedere il ricorso a strumenti a neutroni o a raggi gamma per registrare le curve di resistività del terreno in cui si opera. È necessario, poi, l'intervento di geologi specialisti di fanghi per la lubrificazione degli utensili di trivellazione: il loro lavoro consiste nell'individuare il fango ideale, date le caratteristiche del pozzo, per fare in modo che il foro di trivellazione non si allarghi durante la perforazione o il pompaggio del petrolio in superficie. Posare e mantenere in efficienza migliaia di chilometri di oleodotto attraverso alcuni dei territori più impervi e inospitali del pianeta richiede l'impiego di professionalità di alto profilo. Il processo di raffinazione è probabilmente la fase più complessa: ingegneri specializzati in chimica⁴organica spezzano la catena degli idrocarburi complessi del petrolio greggio e la ricostruiscono, generando una vasta gamma di prodotti, dalla benzina ai materiali plastici.

Il coordinamento dell'intero processo - far fluire il petrolio attraverso gli svariati canali e le trasformazioni che deve attraversare prima di giungere all'utente finale - richiede l'intervento di manager e di specialisti del marketing. Anderson ci conduce attraverso il complesso labirinto di attività che costituiscono l'industria petrolifera.

Tanto per cominciare, il 60% del petrolio prodotto ha già una destinazione - spesso le raffinerie di chi lo estrae - prima ancora di uscire dal sottosuolo. Solo quel che resta è messo in vendita sul libero mercato. Acquirenti e intermediari, in rappresentanza delle altre grandi compagnie petrolifere o agendo in proprio, rivendono il greggio alle piccole raffinerie. L'acquirente deve conoscere a fondo tutti gli aspetti della produzione petrolifera e, in particolare, quali impianti possono raffinare le diverse qualità di petrolio greggio; inoltre, deve avere una discreta conoscenza di quali sono i prodotti petroliferi richiesti in una data area geografica e la qualità di greggio più adatta a essere trasformata in quei prodotti.

Il raffinatore, a sua volta, deve fare molta attenzione alle

particolari caratteristiche di ogni partita di greggio che acquista. Il greggio saudita, per esempio, ha proprietà diverse da quello venezuelano. Le compagnie petrolifere classificano il greggio in base a parametri quali peso, viscosità, cerosità e contenuto sulfureo. Oggi, le raffinerie sono costruite per trattare solo alcuni tipi di greggio. Per esempio, dice Anderson, se un impianto progettato per lavorare greggio a basso contenuto sulfureo raffinasse materiale con un elevato tenore di zolfo, i macchinari si corroderebbero, con danni per centinaia di milioni di dollari.

Altrettanto complicata può essere la commercializzazione. Molti prodotti petroliferi, infatti, seguono un ciclo stagionale: la vendita di gasolio da riscaldamento raggiunge il picco nei mesi autunnali, mentre quella di benzina è più elevata nel periodo estivo. I manager stilano previsioni sul fabbisogno futuro con un anticipo da sei mesi a un anno per assicurarsi che il greggio con le giuste caratteristiche sia introdotto nel sistema, destinato alle raffinerie adeguate e trasformato nei prodotti più richiesti secondo la stagione. Se una raffineria si trova con greggio in eccedenza, per esempio a causa di una caduta della domanda o di un'inaspettata chiusura per riparazioni, di solito lo rivende a una o più raffinerie, fra le molte che operano nello stesso paese, che abbia necessità e fabbisogni complementari. Anderson sottolinea come l'industria petrolifera sia essa stessa un oleodotto, progettata per il flusso: se il petrolio resta fermo nei serbatoi per troppo tempo, si perde denaro. Poiché è un sistema di flusso, la sua capacità di immagazzinamento, in ogni punto, è limitata. La maggior parte degli operatori detiene scorte pari a un fabbisogno inferiore alle due settimane: ciò significa che il processo di coordinamento per far sì che il petrolio affluisca nel momento e nel posto giusti deve essere efficiente e preciso.

Secondo la descrizione di Anderson, le direzioni marketing delle società energetiche sono divise per settori (industria, ingrosso, dettaglio) e per prodotti specializzati; i maggiori utilizzatori industriali sono le compagnie aeree, i

servizi di pubblica utilità, gli stabilimenti chimici e le raffinerie, che vengono contattati direttamente dalle società energetiche. Le forniture all'industria vengono utilizzate per la produzione di asfalto, fertilizzanti, carburanti per aerei, coke per l'industria metallurgica e della gomma e gas liquidi per la chimica e i prodotti agricoli. Negli Stati Uniti la produzione di carburanti per autotrazione copre ancor oggi il 50% delle vendite di derivati del petrolio.

La ristrutturazione dei commerci

L'infrastruttura energetica del petrolio è di gran lunga la più complessa griglia energetica che sia mai stata creata. È la natura stessa dell'energia che ne ha determinato la complessità: diffuso in modo non uniforme, difficile da estrarre, costoso da trasportare, complicato da raffinare e utilizzabile in migliaia di modi diversi, il petrolio fin dall'inizio ha richiesto una struttura di comando e di controllo altamente gerarchizzata per il finanziamento dell'esplorazione e della produzione e per il coordinamento del flusso a valle, verso gli utenti finali. L'infrastruttura ultracentralizzata imposta dal petrolio ha inevitabilmente fatto fiorire imprese organizzate su linee analoghe. Nel dibattito sulla nascita del capitalismo industriale è stata dedicata scarsa attenzione al fatto che il regime energetico che ne è scaturito ha determinato, in larga misura, le forme dell'attività economica.

In una società costruita per sfruttare l'energia derivante dalla combustione del legname, l'impresa è piccola e locale, e i prodotti, generalmente, sono scambiati in un ambito geografico limitato. Spesso le aziende sono di proprietà familiare, hanno scarsa necessità di finanziamento esterno e, dal momento che i beni capitali sono semplici e facilmente assemblabili, ricorrono a conoscenze, utensili e altre risorse quasi sempre disponibili nell'ambito della comunità. Come fonte d'energia, il legname ha dei limiti. I volumi, i ritmi e i flussi di produzione resi possibili dall'e-

nergia derivante dal legname non sono così notevoli da produrre un cambiamento qualitativo nella forma e nella velocità dell'attività economica, né sono in grado di imporre un maggior coordinamento e meccanismi di comando e controllo più centralizzati e gerarchizzati.

I combustibili fossili sono del tutto diversi. Carbone, petrolio e gas naturale sono forme di energia molto più concentrate che, se ben sfruttate, possono accrescere il risultato e la densità dell'attività economica. L'accelerazione del ritmo e dell'interazione si riversa anche nell'ambito culturale e in quello politico, spingendo verso la centralizzazione e gerarchizzazione in tutti i settori, onde gestire il maggior peso assunto dalle interazioni umane.

La ferrovia e il telegrafo, le prime fra le industrie moderne ad affidarsi ai combustibili fossili come fonte d'energia, hanno delineato la griglia operativa di riferimento per le imprese più centralizzate e gerarchizzate che sarebbero poi giunte a dominare ogni settore e a diventare il marchio distintivo del capitalismo del ventesimo secolo. -

La ferrovia mosse i primi, veri passi negli Stati Uniti, negli anni Cinquanta dell'Ottocento, quando, in un solo decennio, vennero posati oltre 33.000 chilometri di binari. La velocità del trasporto registrò un cambiamento senza precedenti nella storia: per la prima volta, l'uomo poteva superare, e di gran lunga, i limiti di velocità imposti dalle proprie gambe, dal trasporto animale e dallo sfruttamento del vento e delle onde. Se nel 1850 un viaggio da New York a Chicago richiedeva più di tre settimane, già nel 1857 i treni trasportavano centinaia di passeggeri fra le due città in sole 72 ore. La ferrovia offriva alle società commerciali un servizio di spedizione delle merci veloce, economico e affidabile. E, a parità di costi, trasportava un carico triplo rispetto ai servizi di navigazione interna.

Tenere sotto controllo merci caricate su migliaia di vagoni ferroviari, lungo migliaia di chilometri di strada ferrata, mantenere in efficienza la rete e il materiale rotabile, sorvegliare migliaia di dipendenti e garantire la sicurezza dei

passaggeri, richiedeva un nuovo modello organizzativo. Lo storico dell'economia Alfred Chandler afferma che le ferrovie sono state le prime aziende modernamente organizzate, con una netta separazione fra proprietà e gestione. Nessuna famiglia poteva finanziare da sola gli ingenti investimenti in conto capitale richiesti dalla costruzione di una linea ferroviaria. Così, negli anni Cinquanta dell'Ottocento, i grandi istituti finanziari europei cominciarono a erogare prestiti alle compagnie ferroviarie americane. La gestione di queste compagnie fu messa nelle mani di una nuova classe di «dirigenti stipendiati», che anticipò il sistema organizzativo moderno: un meccanismo di comando e controllo centralizzato e gerarchizzato, con i decisori al vertice della piramide e quadri intermedi responsabili ai diversi livelli di specifiche attività operative quotidiane, nei limiti generali disposti dai grandi capi.

Già negli anni Novanta dell'Ottocento, secondo Chandler, la struttura organizzativa delle ferrovie era diventata incredibilmente simile a quella che avrebbe dominato la scena aziendale nel secolo successivo. Al vertice dell'organigramma c'era il consiglio d'amministrazione; subito sotto, il presidente, il sovrintendente generale e il tesoriere; a un livello più basso, direttori generali in funzione di supervisori dell'attività di due o tre sovrintendenti; un gradino sottostante, quadri intermedi responsabili di specifici uffici e funzioni⁶⁰, come la gestione del materiale rotabile, delle merci, del traffico passeggeri, la manutenzione della linea, il controllo di gestione, i servizi legali, la progettazione e la costruzione. Chandler afferma:

Le ferrovie furono dunque le prime imprese moderne: le prime ad aver bisogno di un numero elevato di dirigenti stipendiati e di una sede centrale dalla quale i loro quadri intermedi potessero dirigere e coordinare l'attività, sotto il diretto controllo dell'alta direzione generale, la quale, a sua volta, rendeva conto al consiglio d'amministrazione; le prime che si diedero una vasta struttura organizzativa interna con linee di responsabilità, di autorità e di comunicazione accuratamente definite allo scopo di assicurare collegamenti efficaci tra la sede centrale, i dirigenti dei vari reparti e le singole unità opera-

tive; infine le prime che misero a punto un sistema d'informazione basato su dati statistici e finanziari come mezzo per controllare e valutare il lavoro dei molti dirigenti che impiegavano.

Nel 1891 la Pennsylvania Railroad occupava 110.000 addetti, cosa che, all'epoca, la rendeva la più grande azienda del mondo, giungendo a rivaleggiare per dimensioni con l'amministrazione federale degli Stati Uniti. Nel 1893 le entrate del governo di Washington ammontavano a 387,5 milioni di dollari; nello stesso anno, la Pennsylvania Railroad dichiarava un fatturato di poco inferiore ai 100 milioni e, nella graduatoria fra le istituzioni americane, pubbliche e private, era seconda per volume di entrate.

La rivoluzione del trasporto su rotaia procedette di pari passo con quella delle comunicazioni. Il telegrafo permise per la prima volta agli uomini di comunicare istantaneamente attraverso grandi distanze geografiche. Furono le ferrovie le prime a trarre vantaggio dal telegrafo, utilizzandolo per indirizzare il traffico, monitorare i movimenti delle merci, coordinare le precedenza fra treni in movimento in direzioni opposte su un unico binario. Già nel 1866, una sola azienda, la Western Union, dominava il settore delle comunicazioni, al punto da diventare, da allora, sinonimo di telegrafo. Il primo colosso americano dei media si fondava su una struttura organizzativa molto simile a quella di una compagnia ferroviaria.

A dettare le condizioni di sviluppo delle ferrovie e dei telegrafi americani furono tanto le economie di scala quanto la velocità. Per creare e gestire queste attività occorrevano grandi capitali, nonché funzioni di comando e controllo gerarchiche e centralizzate per coordinare il ritmo accelerato, il flusso, la velocità e la densità dell'attività economica che generavano. Gli economisti, fino ad allora abituati a pensare a mercati costituiti da piccoli compratori e venditori indipendenti, uniti nello scambio relativamente semplice di beni e servizi, cominciarono a parlare dei vantaggi del «monopolio naturale».

Ferrovie, e telegrafi, oltre a fornire il nuovo modello or-

ganizzativo aziendale, hanno anche rappresentato il nucleo centrale dell'infrastruttura necessaria all'avvento del moderno sistema produttivo. Trasporti veloci e affidabili tutto l'anno e comunicazioni istantanee permisero alle aziende un accesso costante ai fornitori a monte e ai mercati al dettaglio a valle. L'industria, da sempre legata a cicli stagionali, era adesso in grado di operare 365 giorni l'anno. Il carbone prima, e il petrolio poi, fornirono l'energia per illuminare e riscaldare le fabbriche e per azionare i macchinari. In termini di investimenti, il costo per il mantenimento della rete energetica dei combustibili fossili favoriva le grandi aziende rispetto alle piccole. Le grandi aziende, a loro volta, richiedevano meccanismi di controllo e di comando centralizzati per coordinare l'attività.

La moderna burocrazia aziendale è una creatura dell'era dei combustibili fossili e ha raggiunto la maturità negli anni Venti, con la transizione dal carbone al petrolio, e dalle fabbriche a vapore a quelle elettrificate. Per quanto le burocrazie esistessero anche in società precedenti, quella nuova burocrazia, legata al mondo aziendale, fu a suo modo unica. Il grande sociologo novecentesco Max Weber provò a definirne i caratteri: fra quelli essenziali, le regole predeterminate per gestire i processi decisionali, l'autorità esercitata dal vertice della struttura verso il basso, il mansionario scritto e dettagliato a ogni livello dell'organizzazione, i criteri oggettivi per la valutazione delle performance e dei progressi e la divisione del lavoro per compiti e ruoli specializzati. Questo tipo di processo di governo razionalizzato, nota Weber, rese possibile il controllo di organizzazioni grandi e complesse, integrando sotto lo stesso tetto molteplici attività, nonostante l'accelerazione della produzione e la maggiore velocità in generale.

Negli anni di transizione verso un capitalismo maturo si è assistito alla razionalizzazione di molti altri meccanismi. I fusi orari standardizzati, per esempio, furono introdotti per la prima volta dalle ferrovie, per migliorare il flusso del traffico. Nel 1870, un viaggiatore che si fosse re-

cato in treno da Washington a San Francisco avrebbe dovuto regolare l'orologio più di duecento volte per mantenerlo sincronizzato sull'ora locale dell'area attraversata. Questa situazione rendeva assai problematica la definizione degli orari dei treni passeggeri e il coordinamento del traffico merci. Nel 1884, furono stabiliti fusi orari standardizzati per tutto il mondo, fissando a Greenwich, in Inghilterra, il meridiano base.

Per supportare le nuove strutture burocratiche e per favorire l'accelerazione dei flussi dell'attività economica si razionalizzarono anche altri sistemi: per esempio, venne standardizzata la classificazione dei materiali, degli imballaggi e dei prezzi al dettaglio. Il flusso continuo della produzione - le prime fabbriche automatiche - sfornava sigarette, fiammiferi, zuppe e farina in unità predefinite e sempre uguali. I nuovi strumenti di marketing, fra cui i primi cataloghi di vendita per corrispondenza, i marchi di fabbrica e inediti meccanismi di commercio al dettaglio, come la concessione esclusiva di vendita - introdotta inizialmente da International Harvester e da Singer Sewing Machine Company, e in seguito adottata dalle case automobilistiche -, trasformarono la vita commerciale in un flusso accelerato di prodotti standardizzati, con caratteristiche certe e costanti.

Frederick Winslow Taylor, il primo specialista di management del secolo, introdusse i principi dell'organizzazione scientifica del lavoro nelle fabbriche e negli uffici americani. Le sue teorie trovarono in seguito un'applicazione anche tra le pareti domestiche, nelle scuole e in quasi ogni altro ambito della vita contemporanea. Taylor si dedicò alla razionalizzazione degli stessi comportamenti umani per adattarli alla nuova forma di organizzazione burocratica e razionalizzata, intorno alla quale si stava costruendo la nuova società americana.

L'obiettivo di Taylor era quello di rendere ogni lavoratore più efficiente, applicando i medesimi principi adottati dagli ingegneri per migliorare l'efficienza delle macchine. Taylor

suddivise le mansioni dei lavoratori nelle loro componenti operative elementari, cronometrandone l'esecuzione per individuare il miglior tempo ottenibile in condizioni ottimali. Le sue analisi della prestazione lavorativa erano accurate alla frazione di secondo. Studiando i tempi medi e i migliori ottenuti dal lavoratore per ciascuna componente della sua mansione, Taylor fu in grado di formulare raccomandazioni per modificare ogni singolo, infinitesimo aspetto dell'esecuzione, al fine di risparmiare secondi preziosi.

Taylor era convinto che il miglior modo per ottimizzare l'efficienza di ciascun lavoratore fosse l'esercizio di un totale controllo su sei dimensioni temporali: sequenza, durata, pianificazione, ritmo, sincronizzazione e prospettiva. Nessun aspetto del tempo del lavoratore doveva essere lasciato al caso o alla discrezione del lavoratore stesso. Al contrario, il lavoratore doveva essere posto sotto il completo controllo dei manager. Privato della conoscenza e della competenza necessarie per organizzare da sé il proprio lavoro, doveva diventare un automa, come le macchine che utilizzava. Taylor affermava che se l'operaio è «responsabile circa il metodo pratico d'eseguire il proprio lavoro» non è possibile imporgli l'efficienza metodologica e il ritmo desiderati dal capitale. A suo giudizio, lo strumento a disposizione della direzione per esercitare il controllo totale sul lavoratore era la pianificazione:

Ciascun operaio compie quotidianamente un lavoro che è stato programmato con almeno un giorno d'anticipo dalla direzione e per il cui svolgimento egli riceve istruzioni scritte dettagliate che gli precisano i particolari riguardanti il lavoro a lui assegnato e gli attrezzi di cui servirsi per la sua esecuzione ... L'organizzazione scientifica consiste in massima parte proprio nella preparazione dei vari compiti e nel farli eseguire conformemente alle istruzioni emanate dalla direzione.

Taylor divulgò l'idea di efficienza umana e trasformò i cittadini di un'intera nazione in macchine efficienti. Riuscì a velocizzare il ritmo dell'attività lavorativa nelle fabbriche, negli uffici e nelle imprese commerciali, per ade-

guarlo a quello imposto dai macchinari mossi dall'energia del petrolio e dalle tecnologie elettrificate. Da quel momento in poi, massimizzare la produzione nel minor tempo possibile e con il minimo dispendio di lavoro e capitale divenne la parola d'ordine della vita economica e, subito dopo, di quella privata. Forse nessun altro individuo ha avuto un impatto tanto rilevante sulla razionalizzazione del comportamento umano e sul suo conformarsi ai dettami della nuova cultura della produzione e dell'energia quanto Taylor. Il sociologo Daniel Bell ha detto di lui: «Ammesso che un rivolgimento sociale possa essere attribuito a un solo uomo, la logica dell'efficienza come modo di vita deve essere attribuita a Taylor».

La forma organizzativa sviluppata per la prima volta nelle ferrovie, e istituzionalizzata in tutta l'industria americana da Taylor e da una nuova generazione di manager, rimase sostanzialmente immutata per i successivi settant'anni. La gestione burocratica centralizzata di attività imprenditoriali integrate divenne sinonimo di economia americana, dal momento che si trattava del modello istituzionale più adatto a gestire l'impetuosa crescita del processo produttivo resa possibile dalla conversione al carbone, e poi al petrolio e al gas naturale.

Negli Stati Uniti e nel resto del mondo l'attività economica divenne via via sempre più centralizzata e gerarchizzata, in modo direttamente proporzionale al drastico aumento del flusso d'energia e della produzione registrati per tutto il corso del Novecento. Già negli anni Sessanta, le 200 maggiori imprese industriali americane possedevano il 56,3% del patrimonio industriale del paese.

Negli anni Ottanta la nascita della società dell'informazione cambiò il modo di lavorare delle aziende. Il tradizionale modello organizzativo gerarchico era troppo lento per adattarsi al ritmo ancor più accelerato e alla maggiore densità del flusso dell'economia e delle comunicazioni indotti dalla rivoluzione informatica e telematica. Personal computer, palmari, telefoni cellulari e World Wide Web

hanno reso possibile un collegamento mobile e istantaneo fra le persone; trasferire l'informazione nel modo tradizionale, attraverso gli svariati livelli del management, fino a farle raggiungere il vertice, per poi attendere che la decisione ridiscendesse la piramide verso il basso, ritornando al livello operativo, divenne troppo costoso in un mondo in cui, per la prima volta, l'informazione si poteva muovere in ogni direzione alla velocità della luce, ventiquattr'ore su ventiquattro.

Le aziende hanno cominciato ad appiattire le proprie gerarchie, creando modelli organizzativi orizzontali, più facilmente adattabili alla mobilità, alla flessibilità e alla velocità della nuova era economica. La stratificazione dei quadri intermedi è stata ridotta o completamente eliminata. I nuovi organigrammi decentralizzano la decisione, delegano più autorità al personale nel punto di contatto con il fornitore e il cliente.

Con la transizione dalla gerarchia al network e con la dispersione delle decisioni operative, due trasformazioni finalizzate alla riduzione dei costi di transazione e al miglioramento dei margini di profitto, le aziende si sono ulteriormente ingrandite e hanno esteso il loro raggio d'azione economico, così da poter gestire una rete sempre più interconnessa di relazioni e attività. In ogni settore, fusioni e acquisizioni sono diventate la norma: nella finanza, nelle assicurazioni, nelle telecomunicazioni, nei servizi di pubblica utilità, nell'industria del tempo libero, nel settore farmaceutico, in agricoltura, nella metalmeccanica, nella siderurgia e in un'infinità di altri rami - incluso quello energetico - un ristretto numero di imprese concentra e centralizza un maggior potere nel rispettivo campo di attività.

Negli anni scorsi, fusioni e acquisizioni globali hanno raggiunto nuovi vertici. Nel 1999 il valore di tutte le fusioni e acquisizioni a livello globale è stato di 3400 miliardi di dollari: un record, con un aumento del 40% rispetto ai 2500 miliardi dell'anno precedente. Negli ultimi vent'anni

il numero delle fusioni si è centuplicato, raggiungendo un valore complessivo di 15.000 miliardi di dollari. Nel 1999 sono state annunciate 32.000 fusioni o acquisizioni, il triplo di quelle concluse dieci anni prima. Oggi, le fusioni internazionali rappresentano il 33% del totale, contro il 13% dei primi anni Ottanta: segnale evidente di un'accelerazione nel processo di globalizzazione dell'economia.

Le dimensioni stesse di tali operazioni sono sconcertanti: nel 2000, la fusione fra America Online e Time Warner è stata valutata 165 miliardi di dollari. In tre soli settori - telecomunicazioni, credito e radio-televisione - si concentra un terzo del valore di tutte le fusioni effettuate nel 1999.

Il processo di concentrazione del potere economico e commerciale mondiale nelle mani di poche aziende continua ad avanzare: ogni anno, un numero sempre minore di operatori controlla una quota sempre maggiore dell'economia internazionale. Confrontando il fatturato delle aziende e il PIL delle nazioni, oggi tra i primi cento operatori economici mondiali solo quarantanove sono Stati sovrani, mentre cinquantuno sono società private. La somma dei PIL di tutti i paesi, esclusi i primi dieci più industrializzati, è inferiore al fatturato complessivo delle duecento maggiori aziende del mondo. Il fatturato 1999 di ciascuna delle prime cinque aziende del mondo è superiore al PIL di centottantadue nazioni. Nonostante la diffusa convinzione che le grandi aziende al vertice della classifica continuino a cambiare - con le vecchie che falliscono, o si riducono, e le nuove che crescono e conquistano la vetta -, in realtà più della metà delle prime 200 aziende della classifica del 1983 sono presenti anche in quella del 1999, benché il loro nome, a forza di fusioni, non sia più quello di una volta.

Nei primi anni del ventunesimo secolo molti settori fondamentali sono dominati da meno di dieci società globali. Il processo di consolidamento e centralizzazione del potere economico è proceduto di pari passo con l'aumento del flusso d'energia, e probabilmente continuerà a farlo

fino al momento in cui la produzione petrolifera raggiungerà il picco, in un momento ancora imprecisato del prossimo decennio.

L'era del petrolio è stata caratterizzata, fin dal suo inizio, dalle economie di scala. Oggi, il controllo sull'energia globale e sulle attività economiche che ne dipendono è nelle mani di circa cinquecento grandi imprese transnazionali, molte delle quali sono integrate fra loro verticalmente, a monte e a valle, in un fitto reticolo di relazioni di interdipendenza. La globalizzazione non è più un obiettivo futuro, ma una realtà operante. In nessun momento della storia la sopravvivenza e il benessere di tanti esseri umani sono dipesi da un numero così esiguo di istituzioni. Queste ultime, a loro volta, esistono solo in virtù del continuo flusso di combustibili fossili (soprattutto petrolio) che muove ogni aspetto della vita economica moderna.

Se, come Leslie White e altri antropologi e storici affermano, il livello di una civiltà è, almeno in parte, commisurato alla quantità di energia che la attraversa, allora la civiltà dei combustibili fossili rappresenta un vertice, giacché più di ogni altra ha consumato energia, producendo, a vantaggio di chi ne ha beneficiato, il più elevato tenore di vita della storia. Ma siccome a questo maggior consumo energetico è corrisposta una maggiore concentrazione di potere istituzionale sul flusso d'energia e sull'attività economica che lo ha accompagnato, non ci si dovrebbe stupire che l'era dei combustibili fossili abbia anche creato, per amministrare tale regime energetico, le istituzioni di comando e controllo più centralizzate e gerarchizzate mai viste nella storia. Il Novecento è stato realmente caratterizzato dalla costruzione di un nuovo tipo di impero, fondato sul petrolio e gestito dalle grandi aziende multinazionali che operano con - talora contro - i governi nazionali.

Il problema è che un potere più concentrato e centralizzato in poche istituzioni ha sempre significato anche una minore flessibilità nel rispondere a nuove sfide e una maggiore vulnerabilità rispetto a pericoli interni ed esterni. A un

maggior consumo di energia ha sempre corrisposto una maggiore entropia nell'ambiente generale. Dunque, il futuro dell'era del petrolio, ormai giunta alla maturità, si dimostrerà forse tanto costoso quanto vantaggioso è stato il suo passato. Risalendo la curva a campana della produzione petrolifera globale, ci siamo naturalmente concentrati sulla massimizzazione dei benefici. Oggi, in prossimità del vertice e dell'inizio del lungo viaggio discendente, dobbiamo prestare altrettanta attenzione a minimizzare le perdite e a prepararci a un nuovo regime energetico. La prima cosa da fare è rendersi conto dell'enorme portata delle sfide che ci aspettano.

L'imminente picco della produzione globale di petrolio greggio convenzionale deve essere considerato anche alla luce di altri due fattori, potenzialmente destabilizzanti: l'ascesa del fondamentalismo islamico sia in Medio Oriente sia nel resto del mondo e il surriscaldamento dell'atmosfera terrestre dovuto alla combustione degli idrocarburi. Gli effetti sinergici di ciascuno di questi tre fattori sugli altri avranno un ruolo fondamentale nel determinare le prospettive della civiltà umana nei secoli a venire.

L'incognita islamica

«Un generoso prestito di Allah.» Sono in molti, nel mondo musulmano, a considerare tale l'enorme patrimonio di risorse petrolifere sepolto sotto i loro piedi. I più radicali non esitano a sottolineare che, ovunque i musulmani si riuniscono in gran numero, dalla terra su cui camminano sgorga l'oro nero: come se Allah avesse benedetto il suolo che i suoi discepoli terreni calpestano, rendendolo un luogo consacrato, denso di significato storico e religioso. Delle tredici nazioni che aderiscono all'OPEC, dieci sono musulmane: oltre la metà della popolazione di Arabia Saudita, Emirati Arabi Uniti, Qatar, Iran, Iraq, Kuwait, Algeria, Libia, Indonesia e Nigeria è di religione islamica; altri grandi produttori come Oman, Bahrein, Siria, Egitto, Brunei, Tunisia e Malaysia sono paesi musulmani.

Fulcro del petrolio e dell'Islam è l'Arabia Saudita, paese che vanta le maggiori riserve petrolifere del pianeta e terra santa dell'Islam; lì nacque il profeta Maometto e sorgono le città sante della Mecca e di Medina. Per quanto gli analisti geopolitici occidentali fossero soliti sorridere all'idea che Allah abbia potuto fare un dono del genere ai suoi fedeli, nessuno ne ha più il coraggio da quando Osama bin Laden ha preso a incitarne i suoi seguaci in tutto il mondo a riappropriarsi della sacra terra saudita, istituendo lo Stato islamico universale e portando il prezzo del petrolio a 144 dollari al barile.

Le vicende del petrolio danno credito all'idea che la storia «toglie con una mano quel che ha donato con l'altra».

Il petrolio, la fonte d'energia che, nel Novecento, ha contribuito a fare dell'Occidente una forza economica, politica e culturale incontrastata, oggi, in mano a un mondo islamico determinato a cambiare le regole del gioco e a riconquistare il proprio status di arbitro culturale e spirituale del pianeta, può diventare l'arma che lo distruggerà. Di una cosa possiamo essere certi: petrolio e Islam sono indissolubilmente legati e, in questo secolo, il destino dell'uno determinerà, in larga misura, quello dell'altro.

Attualmente, nel mondo, i musulmani sono 1,2 miliardi: il 20% della popolazione totale; sono la maggioranza in cinquantun paesi e una consistente minoranza in molti altri; inoltre, sono il gruppo religioso in maggior espansione. I demografi prevedono che, entro il 2020, un quarto della popolazione umana sarà musulmana. Se la forza demografica è potere, il mondo si sta avviando verso un secolo islamico.

Sebbene stiano crescendo di numero, le loro fortune economiche sono però scarse: secondo la Banca mondiale, il reddito medio di quella che è conosciuta come la «fascia islamica», estesa dal Marocco al Bangladesh, è inferiore ai 3700 dollari l'anno, circa la metà della media mondiale di 7350. A peggiorare la situazione, i paesi di quest'area non solo sono poveri ma, rispetto alle nazioni sviluppate, continuano a perdere terreno. Per esempio, se nel 1950 Egitto e Corea del Sud avevano più o meno lo stesso tenore di vita, oggi il reddito del coreano medio è cinque volte superiore a quello dell'egiziano medio.

Il petrolio è considerato da una parte crescente della gioventù musulmana come il «grande livellatore», un'arma spirituale e geopolitica che, se posta al servizio di Allah, può portare alla riscossa dell'Islam. Fahd, re dell'Arabia Saudita, lo intuì alla vigilia degli shock petroliferi degli anni Settanta e Ottanta, quando disse ai suoi fratelli di fede che «dopo Dio, la risorsa alla quale possiamo affidare la nostra sorte è il petrolio».

Il risveglio dell'interesse dei giovani per l'Islam, e la conseguente islamizzazione e politicizzazione del petro-

lio, è l'ultimo capitolo di una storia di 1500 anni di conflitti e confronti con l'Occidente e la cristianità, durante i quali il mondo islamico è stato - di volta in volta - vincitore e vinto, dominato e dominatore. Per molti musulmani, che hanno provato un senso di sconfitta e di umiliazione nei confronti delle potenze occidentali per gran parte del Novecento, la prospettiva di controllare il rubinetto dell'ultimo petrolio rimasto nel mondo è un'occasione per pareggiare i conti. Per le potenze occidentali, per le grandi compagnie petrolifere, per la comunità degli affari e per i consumatori, l'idea che l'Arabia Saudita e gli altri paesi del Golfo Persico produttori di petrolio siano nelle mani di una giovane generazione di fondamentalisti, desiderosi di imporre a tutto il pianeta uno Stato universale islamico - la via musulmana alla globalizzazione -, è un incubo.

La visione di Maometto

L'attuale rigurgito fondamentalista trae origine da una storia complessa, che molti occidentali ignorano completamente. Innanzitutto occorre valutare con attenzione il motivo per cui tanti giovani musulmani in Medio Oriente e in altre regioni del mondo, poveri o ricchi, analfabeti o istruiti, trovino un terreno comune in quella che definiscono la «rinascita spirituale», e che per noi rappresenta una minacciosa polarizzazione politica del mondo. Cercare di interpretare la storia dell'Islam secondo l'ottica musulmana offre spunti interessanti per capire cosa ci potranno riservare i prossimi decenni, in cui sia la produzione mondiale di petrolio sia la ribellione giovanile nel mondo islamico raggiungeranno il picco.

La prima cosa da sapere sull'Islam è che, pur affondando le proprie radici nel giudaismo e quindi rientrando, come il cristianesimo, nella grande tradizione monoteista che ebbe inizio con il profeta Abramo, ne diverge per una questione fondamentale: l'interpretazione del ruolo dell'uomo pio nelle vicende terrene. Per il cristiano, la vita

terrena è molto meno importante della salvezza nell'aldilà. Fin dai suoi albori, quella cristiana è stata una religione oltremondana. Agostino e gli altri padri della Chiesa chiarirono che la nostra realtà è poca cosa, e che il tempo concesso al fedele sulla terra deve essere impiegato per diffondere la buona novella della venuta di Cristo e per prepararsi al mondo che verrà. Il cristiano deve essere testimone del regno di Dio, farsi suo servitore sulla terra, e lasciare le vicende della storia ai principi e ai potenti. «Date a Cesare quel che è di Cesare» è stata una delle parole d'ordine della fede cristiana. L'uomo, al pari delle altre creature, è un essere caduto, macchiato dal peccato originale che discende dalla perdita della grazia nel giardino dell'Eden. La salvezza può dunque essere trovata soltanto nel mondo ultraterreno.

L'Islam, invece, nasce da un'ispirazione tutt'affatto diversa. Il suo fondatore, il profeta Maometto, cercava la presenza di Dio nella storia dell'uomo e credeva che la storia fosse, in sé, il campo in cui l'uomo determina il suo rapporto con Dio. Un concetto radicalmente diverso da quello che, nel Medioevo, indusse i fedeli cristiani ad abbandonare le cose terrene e a creare gli ordini monastici.

Il profeta Maometto nacque nel 570 d.C. e crebbe come membro della tribù Quraish, fiorente allora nella città della Mecca. In età matura, soffrì il tormento per gli effetti che la sopraggiunta ricchezza aveva prodotto sulla sua tribù e, soprattutto, sui suoi capi. Molti erano ossessionati dal denaro e dal guadagno, spesso realizzato a spese del prossimo, ed erano diventati meno caritatevoli e disponibili a condividere le proprie fortune con i più deboli, creando divisioni che minacciavano di lacerare e distruggere il tessuto sociale. Dio vide il suo dolore e, la notte del diciassettesimo Ramadan, nell'anno 610, gli apparve. Maometto si svegliò dal sonno avvertendo una forte presenza. Le prime parole delle nuove Scritture arabe cominciarono a scorrere dalla sua bocca. Negli anni seguenti, Maometto avvertì spesso la presenza divina, che ogni voi-

ta gli dettava nuovi versetti coranici. Cominciò a diffondere la parola *di* Dio, prima presso i parenti, poi fra gli amici e, infine, anche presso sconosciuti.

Il Corano (che significa «recitazione») era, più di ogni altra cosa, una guida pratica di comportamento: richiamava il fedele a contribuire alla creazione di una società più giusta e umana, che si prendesse cura dei deboli e dei poveri, in cui ogni individuo vivesse nell'amore e nel rispetto del prossimo. Per quanto anche il giudaismo, il cristianesimo e le altre grandi religioni monoteiste predicassero la giustizia economica e sociale, e lodassero le virtù della pratica della «regola aurea», ciò che rendeva unico l'Islam era l'enfasi posta sull'applicazione dei propri principi nella vita quotidiana, nella politica e negli affari. Missione di ogni depositario della fede è redimere la storia, creando una società che sia lo specchio della fede. In questo nuovo schema, il regno spirituale e quello temporale sono considerati uniti e indivisibili: vivere una vita spirituale significa vivere una vita giusta in una società caritatevole; analogamente, vivere una vita giusta e caritatevole nella società significa *vivere* una vita spirituale.

Il messaggio di Maometto toccava corde sensibili: alla Mecca e a Medina, dove la recente ricchezza favoriva alcuni a spese di altri, e dove responsabilità e doveri tradizionali verso la famiglia e il vicinato erano messi in discussione dall'avidità e dal miraggio del guadagno materiale, i poetici versetti del Corano, con il loro eloquente appello a una vita più giusta, trovarono orecchie attente sia fra gli insoddisfatti membri benestanti della società sia fra i deboli e i poveri.

Maometto immaginava una comunità universale di fedeli (*umma*), uniti dalla comune determinazione a costruire una società giusta ed equa. A tal fine, il Corano dava istruzioni molto precise in termini di comportamento. Per esempio, a ogni musulmano è richiesto di donare ai poveri una parte del proprio reddito e, durante i giorni santi del Ramadàn, il credente deve digiunare per provare le stesse

sofferenze e gli stessi dolori di chi non ha da mangiare e da bere a sufficienza.

La crescita e la prosperità della *umma* sarebbero state il segno che i credenti vivevano secondo la volontà di Dio. Se, invece, la *umma* fosse stata divisa, turbolenta, vittima di sofferenze, poteva solo significare che il popolo non rispettava il volere divino.

A meno di cent'anni dalla morte di Maometto, l'Islam aveva già esteso i propri confini dai Pirenei all'Himalaya, unendo popoli diversi in una nuova fratellanza universale e creando un altrettanto nuovo e vasto impero, la cui influenza si sarebbe avvertita per i successivi tredici secoli. La conquista rafforzò l'idea che la volontà di Dio fosse stata fatta: i successi politici e militari permettevano a ciascun musulmano di sentirsi parte di un'esperienza trascendente.

L'Islam, dunque, è fondamentalmente diverso dal cristianesimo, dal momento che non separa la città dell'uomo dalla città di Dio. Il vero musulmano vive in un mondo senza soluzione di continuità: la sua vita quotidiana è dedicata alla costruzione della *umma* - la confraternita universale - che riflette la volontà di Dio e, costruendola, si fa segno di trascendenza.

Ponendo l'esistenza terrena e ultraterrena in due ambiti distinti, il mondo cristiano è riuscito a creare le condizioni tanto per l'emergere di uno Stato secolare indipendente, quanto per rendere la fede un'esperienza privata. Nell'Islam tale separazione non esiste: politica e teologia sono intimamente connesse; condurre una corretta vita politica significa condurre una corretta vita spirituale. In questo senso, all'Islam corrisponde una visione del mondo veramente universale. Ma poiché la vita è, nello stesso tempo, spirituale e politica, e come tale indivisibile, non ci può essere una vera separazione fra Stato e Chiesa, o fra ragione e fede, cioè il tipo di scissione che ha contribuito a creare lo schema mentale di riferimento dell'Occidente moderno.

Per la prima, lunga fase della sua storia, l'Islam ha prosperato grazie a questa visione unitaria. Al suo apice, l'im-

però islamico rivaleggiava per estensione e potenza con quello della Roma antica. Mentre l'Europa sprofondava sempre più nell'oscurità, e già nell'ottavo secolo era quasi moribonda, l'Islam diventava la culla indiscussa di ogni sapere e progresso culturale. I musulmani riscoprirono la filosofia, la matematica e l'astronomia della Grecia classica, e crearono i primi prototipi di quella che in seguito sarebbe diventata l'università. Per i cinque secoli successivi, i sapienti musulmani dominarono quasi ogni campo dello scibile. Le loro biblioteche a Cordoba e Toledo erano invidiate in tutto il mondo.

A questo punto si impone una domanda: perché, nell'era moderna, è stato l'Occidente, non l'Islam, a sfruttare la scienza per dominare la natura e colonizzare il mondo?

La ragione risiede proprio nel carattere monistico della concezione islamica del mondo. Per i musulmani, la scienza buona - come la buona politica - deve riflettere la gloria della presenza di Dio e aiutare il fedele a condurre una vita più spirituale. In questo stesso ordine di idee rientrava per un certo verso anche la filosofia greca, nella misura in cui investigava continuamente la natura delle cose al fine di comprendere sempre meglio il mondo così come era stato creato. Faruk el-Baz, geologo alla Boston University⁷ ed ex consigliere scientifico del presidente egiziano Anwar al-Sadat, spiega così l'approccio musulmano alla scienza: «Chi più conosce, più riconosce la presenza di Dio». I musulmani considerano la scienza un modo per comprendere meglio l'unità dell'esistenza, che è creazione divina. Questo non significa che la scienza non possa essere sfruttata a fini pratici. Per esempio, il grande interesse per l'astronomia venne, almeno in parte, stimolato dalla necessità pratica di far sì che ogni fedele, cinque volte al giorno, sapesse da che parte indirizzare la sua preghiera, in modo che fosse rivolta alla Mecca. Gli studiosi musulmani produssero elaborati diagrammi e tabelle grazie ai quali ogni musulmano poteva stabilire la direzione sacra, in qualunque punto del mondo islamico si trovasse.⁸ Ma per quante applicazioni

pratiche avesse, la scienza era - e resta tuttora - una finestra sul sacro. Per gli studiosi musulmani, la scienza non è mai stata uno strumento al servizio dell'uomo, quanto piuttosto uno strumento al servizio di Dio.

L'approccio europeo alla scienza

L'Occidente, al contrario, ha combattuto una lunga e dura lotta che, alla fine, ha separato la scienza da ogni considerazione di natura ultraterrena e, nel farlo, ha liberato lo spirito prometeico destinato a edificare il mondo moderno nel segno del materialismo occidentale. Max Weber ha definito questa epica battaglia il «disincanto del mondo». Ancora una volta, le sue radici si ritrovano nei fondamenti dell'esperienza cristiana e, in particolare, nella chiara distinzione operata fra i due regni dell'esistenza: quello terreno e quello celeste. Il cristiano ha un'esperienza del mondo molto diversa da quella del musulmano: se quest'ultimo vive la propria fede nel mondo temporale, il primo si considera di passaggio sulla terra; per il cristiano, l'esperienza terrena deve essere sopportata, non goduta, essendo priva di ogni aspetto di trascendenza. Si rammenti anche che i primi cristiani aspettavano un imminente ritorno di Cristo e perciò non erano molto interessati al proprio soggiorno terreno. Quando si accorsero che i tempi dell'attesa sarebbero stati più lunghi, i padri della Chiesa cominciarono a istituzionalizzare i propri interessi secolari, stringendo alleanze con le potenze e i principati locali, in modo da garantire alle casse ecclesastiche un flusso costante di entrate. Tuttavia, le arti pratiche, esercitate prevalentemente dagli ordini monastici, non godevano di una grande considerazione ed erano abbandonate a se stesse.

Già nel Duecento, però, l'Europa cristiana cominciò lentamente a risvegliarsi dal suo lungo sonno. Nuove tecniche agricole stavano incrementando la produzione alimentare e garantivano un surplus, per la prima volta dai tempi della

caduta dell'impero romano. Fiorirono gli scambi e vennero aperte rotte commerciali; i villaggi divennero borghi e cittadine; la produzione artigianale crebbe, trasformandosi in industria. Questi progressi crearono una sorta di crisi nell'ambito della Chiesa, che tradizionalmente aveva tollerato le arti pratiche ma solo in quanto relegate a uno status subordinato. I nuovi interessi materiali secolari, però, iniziarono a mettere in discussione la fede. Nel Duecento Tommaso d'Aquino, il grande esponente della scolastica, con la sua *Summa theologiae* tentò di impedire uno scisma fra il regno spirituale e quello secolare sostenendo che Dio aveva donato all'uomo due facoltà elevate: la ragione e la fede. Poiché la ragione permetteva all'uomo di esplorare il mondo materiale, in modo da comprendere meglio la creazione divina, doveva essere incoraggiata. Ma, nondimeno, si doveva accettare che fosse sottomessa alla fede: la risposta a ciò che la ragione non può spiegare è lasciata alla fede. Il compromesso dell'Aquinato, che gli scolastici chiamavano «la delicata sintesi», era formulato in modo da permettere alla ragione di fiorire nel regno materiale, nella misura in cui non tentava di usurpare la fede in quello spirituale: se la ragione avesse prevalso sulla fede, l'uomo avrebbe affermato la propria superiorità rispetto a Dio. Ma i confini tracciati da Tommaso non ressero.

Pur nell'intento di purificare la Chiesa dalla corruzione terrena, nel Cinquecento la Riforma protestante ebbe l'indesiderata conseguenza di approfondire il solco fra regno spirituale e regno materiale. Martin Lutero e Giovanni Calvino predicarono un nuovo catechismo della missione terrena. Entrambi sostenevano che l'insegnamento della Chiesa, fondato sulle opere, non poteva assicurare ad alcun credente un posto in paradiso; secondo i riformatori, ogni individuo è predestinato dalla nascita alla salvezza o alla dannazione. Ma, affermava Calvino, ognuno ha la responsabilità di agire come se fosse stato scelto per svolgere una «missione» e lavorare instancabilmente al miglioramento della propria condizione, così da potersi ras-

sicurare, contro il dubbio della dannazione, di essere fra gli eletti. È per questo che il credente deve organizzare la propria vita nel modo più metodico possibile al fine di conseguire il successo, non per amore del guadagno personale, ma come «segno» della propria elezione. La nuova enfasi posta su quanto si realizza e si ottiene nel mondo diede impulso a comportamenti più materialistici. Max Weber si riferisce a questo nuovo modo di vivere come all'«etica protestante», e afferma che proprio questa, involontariamente, ha prodotto un sistema di riferimento razionale fatto su misura per incentivare l'attività economica e i moderni comportamenti capitalistici.

Nel Seicento i due domini - quello secolare e quello ultraterreno - si scontrarono su vari fronti. La ragione venne sfruttata da una nuova generazione di filosofi ben determinati a mettere in discussione numerose dottrine della Chiesa. Nel 1620 Francesco Bacone scrisse il *Novum Organum*, in cui esaltava le virtù di quello che definì il «metodo scientifico» nel perseguire una conoscenza atta a rivelare i segreti della natura e a rendere l'uomo padrone dell'universo. Bacone era particolarmente duro con la scienza greca, tanto ossequiata dagli studiosi musulmani. Secondo lui, la tradizione socratica, con l'enfasi posta sulla ragione delle cose, era assolutamente inadatta allo scopo di accrescere il benessere materiale dell'umanità. Per quanto riguarda gli antichi Greci, lamentava il filosofo britannico, «non si può addurre neppure un esperimento che abbia giovato a sollevare e a migliorare la condizione dell'umanità». E aggiungeva, in tono ironico, che «essi ebbero qualità puerili: la prontezza nel cianciare, l'incapacità di generare; per cui la loro scienza è tutta verbale e priva di opere». Bacone era molto più interessato ai vantaggi pratici che potevano derivare dalla scienza. Considerava la natura non tanto come una finestra aperta sul sacro quanto, piuttosto, una «volgare baldracca», incitando le future generazioni a «scuoterla dalle fondamenta» per «imbrigliarla, formarla e modellarla», in modo da «estendere la potenza e il dominio del gene-

re umano a tutte le cose». Le idee sulla natura e sul ruolo della scienza formulate da Bacone sarebbero state un anatema per gli studiosi musulmani: la sua era una filosofia puramente utilitaristica, formulata per affermare il potere dell'uomo sul creato e per ottimizzare i vantaggi materiali della società.

L'Europa del Seicento, invece, era più disponibile a prestare ascolto a una simile eresia: le emergenti economie mercantiliste, con le loro avventure coloniali, erano impegnate direttamente a domare il mondo naturale e ad ampliare i confini del potere dell'uomo. Le idee di Bacone sulla natura e sulla scienza si adattavano quindi perfettamente allo spirito del tempo.

La Chiesa manteneva una posizione ambivalente. Per quanto fosse ansiosa di cristianizzare i selvaggi del Nuovo Mondo, la gerarchia ecclesiastica non condivideva l'audacia umanistica che si accompagnava alla conquista coloniale. Il Vaticano lottava per contenere il nuovo razionalismo materialistico che si stava facendo strada nel pensiero europeo, influenzando le idee di natura e di scienza, ma era un impegno scarsamente determinato. La Chiesa tentò di ridurre al silenzio l'astronomo italiano Galileo Galilei, con la sua teoria della rotazione della terra intorno al sole, condannandolo all'ergastolo per eresia, per poi commutare rapidamente la pena in arresti domiciliari permanenti. Già allora, il progresso materiale dell'Occidente era così avanzato da non poter essere rallentato dalla dottrina ecclesiastica. La fede cedette il passo alla ragione e, nel volgere di un solo secolo, i filosofi cominciarono a proclamare l'avvento del nuovo regno secolare sulla terra. Alla vigilia della Rivoluzione francese, il marchese di Condorcet rilevava che

la natura non ha posto alcun limite al perfezionamento delle facoltà umane; ... la perfettibilità dell'uomo è realmente indefinita; ... i progressi di questa perfettibilità, ormai indipendenti da ogni potenza che volesse arrestarli, non hanno altro limite che la durata del globo sul quale la natura ci ha gettato.¹²

L'Occidente è riuscito a separare fede e ragione, affidando a quest'ultima il dominio sugli affari della società e relegando la prima nello spazio della vita privata.

La Chiesa avrebbe continuato a esercitare pressioni per diffondere la fede, ma non sarebbe più stata il punto di riferimento organizzativo universale per la società. Il suo posto sarebbe stato preso da un nuovo modello istituzionale, lo Stato-nazione: un apparato secolare strutturato per diffondere ai quattro angoli della terra la «ragione», sotto forma di scienza, tecnologia e attività economica. Nei due secoli successivi questa nuova trinità secolare governò il mondo. E ovunque riusciva ad allungare i suoi tentacoli, l'Islam andava incontro alla sconfitta, alla sottomissione e all'umiliazione per mano dell'Occidente.

Già alla fine dell'Ottocento molti musulmani cominciarono a chiedersi che cosa possedessero gli occidentali, in termini di modello educativo, tecnologia e istituzioni politiche e secolari, da permettere loro di esercitare sul mondo un'influenza così pervasiva. La caduta definitiva dell'impero ottomano, dopo la prima guerra mondiale, convinse molti musulmani che l'unico modo per rallentare la disgregazione e far riconquistare all'Islam una salda posizione nel mondo era quello di scoprire come appropriarsi delle cose che avevano reso tanto potente l'Occidente, per adattarle alle proprie, diverse caratteristiche.

Le influenze occidentali

Nel primo Novecento, fra i musulmani emersero due gruppi: gli occidentalizzatori e i modernisti. I primi volevano adottare *in toto* il modello occidentale, applicandolo all'Islam con un rivolgimento strutturale che avrebbe messo in discussione l'ortodossia religiosa su cui poggiava la società. Studiosi e teologi musulmani, soprattutto in Egitto e in India, crearono una sorta di versione islamica dell'Illuminismo europeo, nel tentativo di adattare l'Islam alla forma occidentale, suggerendo profonde riforme sociali e

strutturali, fra le quali l'autonomia dello Stato dalla religione, la costituzione di una società civile, l'indipendenza della scienza dalla supervisione dell'autorità religiosa, la creazione di un potere giudiziario svincolato dalla *longa manus* dei capi religiosi, e l'adozione di un sistema politico parlamentare. I modernisti erano più cauti: volevano adottare elementi selezionati del modello occidentale, a livello politico, giuridico e educativo, adattandoli in modo da non snaturare l'essenza dell'Islam. Vinsero gli occidentalizzatori, e non di misura, giacché l'influenza coloniale dell'Occidente era già estremamente radicata nel mondo musulmano. Tra la fine della prima guerra mondiale e gli anni Sessanta le élite mediorientali, musulmane e non, vennero a istruirsi in Europa e in America, assumendo costumi e stili di vita occidentali. Il Medio Oriente fu prima europeizzato, poi americanizzato: in tutta la regione fu introdotto il modello dello Stato-nazione, e una nuova generazione di politici si dedicò alla creazione di una cultura secolarizzata.

Quella dell'occidentalizzazione del Medio Oriente è stata una storia di continui fallimenti. Il modello occidentale era, semplicemente, troppo estraneo all'esperienza islamica della *umma* per avere successo. Per secoli, i musulmani erano stati devoti alla confraternita universale, che non ha confini e si fonda sulla fede religiosa: convincerli ad accettare uno Stato-nazione - un modello secolare di governo, fondato sulla definizione di confini politici arbitrari - era una missione impossibile. I musulmani sono, ancor oggi, tribali e territoriali, ma il livello superiore di affiliazione è la *umma*. Lo Stato-nazione era ed è considerato da molti, in Medio Oriente come in altre aree, un'istituzione coloniale creata per dividere e conquistare i musulmani.

È questa una percezione giustificata peraltro dalla storia della regione. Le potenze europee, soprattutto la Gran Bretagna, hanno mantenuto per più di un secolo la presenza coloniale in Medio Oriente. Durante tale periodo furono istituiti Stati-nazione, spesso con la collaborazione

di forti figure locali, per la difesa degli interessi europei e, in seguito, statunitensi. Queste cosiddette nazioni erano state pensate più in funzione del consolidamento delle rotte commerciali, dell'accaparramento di risorse vitali e degli interessi strategici militari che della coalizione di popoli affratellati da un obiettivo politico comune. Anzi, spesso i confini politici erano imposti con la forza a diverse tribù locali, generando sentimenti di rabbia e malcontento, che dovevano essere periodicamente sedati da interventi polizieschi o militari.

Per un certo periodo, dopo la seconda guerra mondiale, fiorì una sorta di nazionalismo che assunse le forme del panarabismo. Ispirandosi alle lotte anticolonialiste combattute fra gli anni Quaranta e Cinquanta in Asia e in Africa, una nuova generazione di leader arabi, capeggiata dall'egiziano Gamal Abd el Nasser, cominciò a reclamare un approccio alternativo alla questione nazionale. Prendendo le distanze dalla forma colonialista del nazionalismo, che era stata imposta all'Egitto nella prima metà del Novecento, Nasser consolidò il proprio potere negli anni Cinquanta introducendo un moderno regime laico di matrice socialista. Il suo sogno era quello di unificare il mondo arabo in un'unica nazione, nello stesso modo in cui, nel secolo precedente, i nazionalisti italiani e tedeschi avevano unito regioni accomunate da una sola lingua. La visione panarabista di Nasser fu adottata in tutto il Medio Oriente. Dopo un secolo di usurpazione coloniale, i leader politici locali erano alla disperata ricerca di un'ideologia politica per cui valesse la pena di battersi. Ma il loro entusiasmo iniziale non durò a lungo. Il nazionalismo panarabo cadde presto preda di una nuova dipendenza coloniale: quella dall'agenda politica dell'Unione Sovietica. Sostituire il colonialismo occidentale con quello sovietico non fu uno scambio vantaggioso. Inoltre, il socialismo egiziano non riuscì a trovare un proprio spazio né nel paese né nella regione: a metà degli anni Sessanta, molti dei progetti economici di Nasser erano falliti; l'Egitto e i paesi che ne avevano seguito l'esempio

scivolarono inesorabilmente all'indietro. La grande visione dell'approccio panarabista alla modernizzazione scolorò. Il colpo di grazia al panarabismo venne dato dall'umiliante sconfitta nella guerra dei Sei giorni contro Israele, nel 1967: se l'intero mondo arabo non era in grado di vincere contro una piccola nazione di 3 milioni di anime, parlare di risorgimento panarabo diventava pura follia.

Il panarabismo di Nasser, intriso di socialismo, ebbe un profondo effetto sulle masse. Lo Stato panarabo si sarebbe sviluppato in base alla capacità di allentare la presa dello slam sulla vita quotidiana degli individui. La secolarizzazione della società egiziana condusse inevitabilmente Nasser e il suo governo a entrare in rotta di collisione con i depositari della fede islamica. Il più vasto e visibile gruppo confessionale del paese, quello dei Fratelli musulmani, fu sottoposto a un trattamento particolarmente duro: più di un migliaio di suoi esponenti vennero rinchiusi in campi di concentramento, alcuni per anni. Altri regimi mediorientali, nel segno della modernizzazione e della secolarizzazione, si comportarono in modo ugualmente duro nei confronti dei gruppi islamici. In Iran, lo scià Muhammad Reza Pahlavi chiuse le *madrassa* - le scuole coraniche - torturando, imprigionando ed esiliando gli *ulama*, i leader religiosi, giustiziando i dissidenti islamici e conducendo una sistematica campagna per liberare l'Iran da qualsiasi influenza religiosa, perfino sui codici vestimentari e sugli stili di vita. Questo e analoghi sforzi compiuti in altri paesi mediorientali non fecero che rendere ancora più odiosa ai musulmani osservanti l'idea di una società secolarizzata.

Il processo di modernizzazione sviluppato dagli Stati nazionalisti ebbe un ulteriore, profondo effetto sulla popolazione e, in particolare, sui giovani. In Egitto, Giordania, Iran e altrove la corsa alla modernizzazione dell'economia condusse allo spopolamento delle campagne e alla

molti musulmani persero il proprio senso di radicamento. Al riguardo, la comunità secolare della città aveva ben poco da offrire: impoveriti e isolati, spogliati del senso di identità personale, molti giovani musulmani cominciarono a considerarsi alieni in un mondo ostile. Panarabismo, socialismo e modernismo avevano fallito, con loro. Alla ricerca di una risposta alle sfortune occorre, una fascia crescente della gioventù si rivolse nuovamente alla fede per ottenere una guida. Molti trovarono quel che cercavano in un nuovo movimento: l'islamizzazione.

Islamizzazione

Il padre spirituale del nuovo fondamentalismo islamico è un egiziano: Sayyid Qutb. Attivo in gioventù nei Fratelli musulmani, Qutb aveva sperato di trovare il modo di conciliare la democrazia occidentale con il contesto islamico, senza smarrire l'essenza spirituale della fede sotto l'influenza secolare. Dopo essere stato incarcerato da Nasser per la sua militanza nei Fratelli musulmani, Qutb rivide le proprie posizioni. Testimone delle brutali torture e delle esecuzioni sommarie dei suoi «fratelli» da parte della polizia egiziana, Qutb si convinse che l'Islam fosse incompatibile con le esigenze di una società secolarizzata.

Durante la prigionia scrisse un libro (*Indicazioni*) in cui condannava Nasser e i leader di quasi tutti i paesi arabi dell'epoca, lanciando contro di loro l'accusa di *jahlia*. Originariamente, questo termine era utilizzato in riferimento all'Arabia preislamica, il periodo che i musulmani consideravano un'«età dell'ignoranza» (*jahlia* significa infatti «nemici della fede», forze barbariche che rifiutano di sottomettersi alla volontà di Dio). Accusare i leader arabi di *jahlia* fu come innescare una bomba politica.

In realtà, Qutb affermava che la leadership dei paesi arabi, infettata dalla venefica influenza dell'Occidente, stava perseguendo attivamente politiche tese ad allontanare i fedeli dall'Islam. Inoltre, Qutb sosteneva che il vero

musulmano ha il dovere di rovesciare questi regimi. Le sue parole equivalevano a una dichiarazione di guerra contro i detentori del potere nel mondo islamico, un messaggio che cominciò a diffondersi in Medio Oriente. Era nato il fondamentalismo islamico.

Benché nel fondamentalismo islamico contemporaneo esistano diverse correnti, alcuni grandi temi riescono a unire tutti gli integralisti religiosi.

1) La ragione del declino del mondo musulmano viene individuata nel fatto che il popolo islamico e i suoi governanti hanno abbandonato la strada indicata da Dio e dal Corano.

2) L'indebolimento della fede ha permesso alla perniciosa influenza occidentale - fatta di materialismo, secolarismo, nazionalismo e costumi immorali - di condizionare la vita dei musulmani e diffondersi in tutto l'Islam.

3) La soluzione del problema è la reislamizzazione del mondo musulmano. Ciò comporta, fra l'altro, il ripristino della *sharia*, la legge coranica, con la conseguente rigida adesione al tradizionale codice di comportamento islamico, la liberazione della società da ogni influenza occidentale e, soprattutto, dai suoi stili di vita e valori culturali decadenti. Comunque, alcune tecnologie occidentali e alcune forme di attività economica possono essere adottate dall'Islam.

4) La reislamizzazione della società può essere raggiunta solo ripolitizzando l'Islam. I fondamentalisti islamici sono spesso più critici degli stessi *ulama* - i custodi della tradizione legale e religiosa dell'Islam - accusati di aver smarrito il senso dell'impegno politico, parte essenziale della missione islamica. Molti leader religiosi, affermano, sono diventati apolitici o, ancor peggio, apologeti di regimi corrotti, e sono pertanto inadatti a guidare la lotta per una società giusta. E per questo che molti movimenti fondamentalisti sono guidati da laici, non da capi religiosi.

I giovani fondamentalisti islamici di oggi dichiarano: «La soluzione è l'Islam». Il primo sentore che l'islamizzazione potesse rappresentare l'inizio di una nuova riscos-

sa, per i fedeli, venne con la guerra arabo-israeliana del 1973. Sette anni prima, i musulmani erano entrati in guerra al grido di «terra, mare, cielo», affidando le proprie speranze di vittoria a una sofisticata tecnologia militare. Furono sconfitti. Nel 1973 il grido di guerra era diventato «Allah è grande». La rinnovata fede sembrò ripagare con il successo in battaglia o, almeno, così vennero interpretati gli eventi da molti giovani fondamentalisti.

La rivoluzione iraniana del 1979 è considerata da molti l'evento scatenante dell'attuale reviviscenza dell'integralismo islamico, la forza che ha dato impulso ai movimenti fondamentalisti in tutto il Medio Oriente e nel resto del mondo. Lo scià di Persia, per molti musulmani, è il simbolo dei peggiori eccessi dell'influenza occidentale sulle società mediorientali. La sua destituzione e successiva sostituzione con un regime fondamentalista, sotto la tutela dell'ayatollah Khomeini, rappresentarono il primo esempio concreto di successo politico. Il sogno e la realtà si erano fusi, rendendo - per la prima volta - la reislamizzazione del Medio Oriente una possibilità concreta.

Ma negli anni Settanta stava prendendo forma un altro fenomeno, forse perfino più significativo, che avrebbe convinto milioni di musulmani mediorientali che la reislamizzazione era destinata a cambiare il corso della storia. Il grande boom petrolifero degli anni Settanta cambiò profondamente la percezione di sé dei musulmani e quella che il resto del mondo aveva di loro. Questi cambiamenti percettivi hanno avuto un ruolo fondamentale nella ridefinizione dell'Islam, sia al proprio interno sia in relazione al resto della comunità globale.

Per valutare l'enormità del mutamento, si deve rammentare che nel 1970 il petrolio greggio era venduto sui mercati mondiali a circa 3 dollari al barile. Dieci anni dopo, il prezzo era salito a 34 dollari.¹⁵ L'incredibile aumento del prezzo del petrolio è stato affiancato da un altrettanto marcato incremento della produzione: nel 1970 l'Arabia Saudita produceva 3,5 milioni di barili di petrolio al gior-

no, contro i 10 del 1980. La nuova ricchezza che affluì nelle casse dei paesi produttori era senza precedenti. Nel 1970 l'esportazione di greggio procurava all'Arabia Saudita entrate nell'ordine di 1,2 miliardi di dollari; dieci anni dopo, i miliardi erano diventati 101.

Il passaggio da un mercato dominato dalla domanda a uno vincolato all'offerta colse il mondo di sorpresa. Improvvisamente, si materializzò la consapevolezza del fatto che il petrolio, fondamento dell'economia globale, era nelle mani di uomini e governi che, in passato, erano stati considerati poco più che fornitori di merci indifferenziate. Da quel momento, gli sceicchi arabi furono corteggiati insistentemente da leader mondiali desiderosi di conquistarne i favori. Le società multinazionali inviavano in Medio Oriente i propri top manager a bordo di jet privati per effettuare un'attività di lobbying presso i governi locali e per garantirsi vantaggiosi contratti commerciali. Come sottolinea Daniel Pipes nel suo *In the Path of God*, «solo pochi anni prima, l'idea che i paesi arabi potessero collocarsi nella classifica di quelli più ricchi sarebbe parsa paradossale; questa ricchezza, manifestatasi improvvisamente, apparve ancor più ingente/perfino miracolosa, essendo del tutto inattesa».

Pipes afferma che il boom del petrolio ha avuto un gran numero di effetti, altrettanto interessanti, che contribuirono al rafforzamento della nuova fiducia nell'Islam. Letteralmente sommersi dalle nuove ricchezze, i governi, gli sceicchi e molte imprese legate al settore petrolifero destinarono fondi al sostegno di opere missionarie nel mondo, finanziando la costituzione di *madrassa* in ogni angolo della terra, diffondendo libri e opuscoli di propaganda islamica e conferendo risorse a istituzioni e organizzazioni religiose, anche all'estero, accelerando così il passo della reislamizzazione.

Il mondo musulmano aveva da tempo il sentore che il petrolio, un giorno, avrebbe aiutato a scrivere un nuovo capitolo nella storia dell'Islam, ma fu solo nell'autunno del 1973 che questo sogno si fece realtà. Nell'arco di poche set-

timane, i governi musulmani del Medio Oriente rovesciarono completamente l'ordine economico mondiale costruito con estrema cura e attenzione dagli Stati Uniti e dai loro alleati dopo la seconda guerra mondiale e, nel farlo, divennero - almeno per qualche tempo - attori di primo piano sulla scena internazionale.

Egitto e Siria attaccarono Israele nel giorno dello Yom Kippur, la più importante delle festività religiose ebraiche, scatenando la quarta guerra arabo-israeliana. Dieci giorni dopo, i delegati dell'OPEC, riuniti a Kuwait City, concordarono di aumentare il prezzo del petrolio del 70%, portandolo a 5,11 dollari al barile. Altrettanto significativo dell'aumento di prezzo fu il fatto che, per la prima volta, i delegati OPEC riuscirono a prendere una decisione unilateralmente, senza consultarsi con le compagnie petrolifere. Per mezzo secolo, i produttori mediorientali avevano lottato per liberarsi dal giogo dei governi e delle società petrolifere occidentali. Daniel Yergin, nel suo libro *Il premio*, ci rammenta quanto la lotta per l'indipendenza fosse stata lunga e tortuosa: dal primo periodo, in cui il prezzo del petrolio era definito dalle compagnie petrolifere, al giorno in cui i paesi esportatori riuscirono a conquistare un diritto di veto, fino a un'epoca di prezzi negoziati. Ora l'OPEC osava agire autonomamente. Ahmed Zaki Yamani, ministro saudita del petrolio, sintetizzò ciò che era accaduto, proclamando: «Questo è il momento che attendevo da tempo. Ora siamo padroni del nostro prodotto».

Tre giorni dopo, il presidente degli Stati Uniti, Richard Nixon, propose pubblicamente un pacchetto di aiuti militari a Israele pari a 2,2 miliardi di dollari, facendo infuriare i leader arabi. Quello stesso giorno, la Libia dichiarò l'embargo su tutte le esportazioni di petrolio verso gli Stati Uniti. L'Arabia Saudita e gli altri paesi della regione la imitarono rapidamente.

Oltre a bloccare le esportazioni verso gli Stati Uniti, l'embargo stabilì restrizioni alla produzione. In dicembre, ogni giorno si estraevano 4,4 milioni di barili di petrolio in me-

no. Con un'offerta già scarsa sui mercati mondiali, il taglio di quasi il 9% della produzione gettò nel panico consumatori e compagnie petrolifere. Il mondo cominciava a capire quanto dipendesse dal Medio Oriente per il proprio fabbisogno di greggio. Il prezzo del petrolio sui mercati mondiali ebbe un'impennata: negli Stati Uniti il prezzo della benzina aumentò del 40% e, ciononostante, per la prima volta si formarono ai distributori di carburante lunghe code di automobilisti in apprensione: non sapevano se la settimana successiva la benzina sarebbe stata ancora disponibile. In dicembre i ministri arabi del petrolio si incontrarono nuovamente, decidendo di portare il prezzo ufficiale del greggio a 11,65 dollari al barile: il quadruplo rispetto a due mesi prima, all'inizio della guerra.

L'embargo mise seriamente a repentaglio le alleanze occidentali. Le nazioni europee, in particolare, erano ansiose di non irritare ulteriormente gli sceicchi arabi, anche perché erano molto più dipendenti dal petrolio mediorientale di quanto lo fosse l'America. In novembre la Comunità europea approvò una risoluzione a supporto dei paesi arabi nel conflitto arabo-israeliano, mettendosi così al sicuro dai tagli imposti in dicembre alla produzione petrolifera da parte dei paesi arabi. Il Giappone, ancora più dipendente dell'Europa dal petrolio arabo, fece un'analoga dichiarazione, in appoggio all'azione dei paesi arabi nella guerra contro Israele, ottenendo il medesimo trattamento di favore.

Il drastico aumento del prezzo del greggio fece precipitare le nazioni industrializzate in una profonda recessione. Per la prima volta dalla fine della seconda guerra mondiale la disoccupazione raddoppiò e il PIL diminuì sensibilmente.

Gli effetti psicologici dell'embargo petrolifero furono altrettanto importanti di quelli economici e geopolitici. Dopo secoli di declino, quasi da un giorno all'altro, il mondo islamico si era affacciato alla ribalta internazionale in posizione dominante. Udo Steinbach, direttore dell'Isti-

tuto germanico di studi mediorientali di Amburgo, sintetizzò le profonde implicazioni del cambiamento avvenuto nella psiche di tutti gli arabi musulmani, scrivendo:

In questo risiede il significato del petrolio: la dipendenza della maggioranza delle nazioni industrializzate dal petrolio arabo (e soprattutto saudita) ha conferito a ogni arabo musulmano quella certa misura di potere e di rispetto internazionale che gli'era necessaria per riconoscere la validità della sua religione (politica) ... In tal modo, egli ha riconquistato la propria piena identità, e ha ritrovato di nuovo un mondo ordinato nel modo opportuno.

Per colmo d'ironia, il boom petrolifero ha avuto anche l'effetto di portare più rapidamente la modernità occidentale in Medio Oriente. I paesi arabi si misero a corteggiare i mercanti d'armi occidentali, dai quali acquistavano le attrezzature belliche più sofisticate e costose. Beni di consumo e tecnologie invasero la regione, insieme a vestiti e stili di vita occidentali. I giovani del Medio Oriente - finanziati con borse di studio e donazioni governative - migrarono in massa nelle migliori scuole americane ed europee per migliorare la propria istruzione. Così, il flusso di petrolio dal Medio Oriente all'Occidente era compensato da un flusso in direzione opposta di beni e idee occidentali. Tutto ciò accadde così rapidamente che molti musulmani avvertirono una sorta di «shock del futuro», con conseguente crisi di identità. In un mondo pervaso dall'influenza e dalle tentazioni occidentali, la domanda «cosa significa essere musulmano?» non poteva che sfociare nella ricerca di una risposta. E, in questa ricerca, molti giovani musulmani riscoprirono Maometto.

Come si ricorderà, il profeta Maometto aveva comandato ai fedeli di lottare contro l'iniquità creando una società giusta e solidale. E, intorno a loro, i giovani musulmani vedevano ricchezze inimmaginabili godute da pochi eletti, in un contesto in cui la maggior parte degli arabi viveva ancora nella miseria e nello squallore. La nuova ricchezza aveva portato al Medio Oriente il prestigio, ma i regimi politici erano corrotti fino al midollo. Il controllo sul petrolio per-

metteva ai leader politici musulmani di esercitare un'enorme influenza all'estero, ma anche un dominio politico più rigoroso all'interno. La determinante influenza sui flussi di petrolio aveva emancipato il Medio Oriente dall'egemonia commerciale occidentale, ma ben poco aveva fatto per liberare milioni di arabi dai regimi dittatoriali. Molti giovani trovarono così le risposte che cercavano nella riscoperta dell'Islam e nel fondamentalismo. La loro missione, da quel momento, sarebbe stata la reislamizzazione del Medio Oriente e del mondo.

Tempi duri

Il rialzo del prezzo del petrolio, negli anni Settanta, portò i musulmani arabi ad attribuire un nuovo significato al proprio destino collettivo, contribuendo a diffondere un rinnovato interesse per l'Islam. Fu però la dura realtà emersa dopo il crollo del prezzo del petrolio mondiale, alla metà degli anni Ottanta, ad approfondire, indurire e dare forma alle attuali tensioni fondamentaliste del mondo arabo. Se il boom del petrolio aiutò a ripristinare il senso di fiducia nell'Islam, il successivo affondamento contribuì a convincere le giovani generazioni musulmane della necessità di lottare non solo contro l'Occidente, ma anche contro i propri governi corrotti, autocratici e irresponsabili. In parole povere: per un certo periodo, i governi dei paesi arabi riuscirono ad assicurarsi il consenso dei propri sudditi e a controllare i riformatori integralisti, garantendo reddito e occupazione, fornendo i servizi fondamentali ed elargendo doni, favori e sussidi di varia natura per ingraziarsi gruppi religiosi, organizzazioni di lavoratori e non. Ma quando il flusso della rendita petrolifera cominciò ad assottigliarsi, e le casse dei governi a svuotarsi, furono necessari tagli alla spesa. In anni recenti, l'unica cosa che è cresciuta, nei paesi arabi, è la rabbia popolare, il risentimento nei confronti di regimi che sembrano sempre più lontani dal popolo e insensibili alle sue legittime richieste.

Al riguardo, i numeri del petrolio sono sconcertanti. Le entrate petrolifere dei paesi OPEC raggiunsero i 340 miliardi di dollari l'anno dopo l'embargo del 1973. Con la caduta dello scà in Iran, nel 1979, e l'inizio della guerra Iran-Iraq, nel 1980 gli introiti salirono a 438,8 miliardi di dollari. Solo sei anni dopo, questo gettito era crollato a 83 miliardi di dollari, e da allora non si è più risollevato.

Negli anni del boom, molti governi del Medio Oriente - in particolare nel Golfo Persico, che custodisce il 90% delle riserve petrolifere della regione - si trasformarono essenzialmente in «tagliatori di cedole». In altri termini, la voce più rilevante delle entrate dello Stato non erano le tasse, ma la rendita petrolifera. Non è difficile capirne il perché. Al culmine del boom petrolifero, le esportazioni di petrolio costituivano il 50% del PIL dei paesi del Golfo. Per quanto sia difficile per noi occidentali immaginarlo, in Arabia Saudita, Kuwait, Qatar, Abu Dhabi e Dubai lo Stato non esigeva tasse, ma soddisfaceva gratuitamente tutti i bisogni di base della popolazione, grazie a fonti di reddito indipendenti. Negli anni Settanta i governi dei paesi del Golfo divennero un punto di riferimento centrale nella vita dei propri cittadini; e questo nuovo ruolo dello Stato era particolarmente evidente nell'occupazione: anche dopo il crollo dei prezzi petroliferi, a metà degli anni Ottanta, il governo kuwaitiano ha continuato a occupare nel settore pubblico più della metà della forza lavoro; in Oman, negli anni Novanta, più del 60% degli occupati era stipendiato dal governo per operare in quelli che, eufemisticamente, venivano definiti «servizi sociali».

L'impiego pubblico fu solo l'inizio di quella che è diventata una dipendenza totale, «dalla culla alla tomba». Molti paesi del Golfo offrono istruzione pubblica gratuita fino al livello universitario, servizi sanitari gratuiti, sussidi per le abitazioni, contributi a fondo perduto e mutui a tasso agevolato per avviare attività produttive, previdenza sociale per gli anziani e i disabili. L'Arabia Saudita e il Kuwait offrono perfino aiuti alimentari attraverso coope-

relative finanziate dallo Stato. La benzina è scontata e i servizi di pubblica utilità - acqua, elettricità, telefoni - sono gratuiti o hanno prezzi amministrati.

Ovviamente, nulla è completamente gratis. In cambio di questa cura per il benessere dei propri sudditi, i governi del Golfo si aspettano un'assoluta e salda lealtà allo Stato: il dissenso politico, anche il più moderato, non è tollerato; i sindacati indipendenti, che un tempo, in molti paesi mediorientali, costituivano una componente sociale forte, in diversi paesi del Golfo sono stati messi fuorilegge; in Kuwait, Oman, Qatar, Arabia Saudita ed Emirati Arabi Uniti, gli stessi partiti politici sono illegali, mentre in Iraq l'unico partito politico autorizzato è quello di Saddam Hussein; i mezzi di comunicazione di massa sono sotto il controllo del governo e soggetti a censura; infine, il potere è nelle mani di ristrette élite ereditarie, che lasciano poco spazio alla libera espressione di posizioni alternative.

Finché le entrate petrolifere sono state superiori alla spesa pubblica per i servizi, le monarchie del Golfo sono state in grado di comprare la lealtà e l'obbedienza della stragrande maggioranza dei loro sudditi. Ma, nell'ultimo decennio, le entrate petrolifere in forte diminuzione non sono riuscite a far fronte a una spesa pubblica in crescita. L'aumento del debito pubblico e il costante taglio dei servizi hanno reso i paesi della regione meno stabili politicamente e più esposti agli strali dei movimenti integralisti islamici.

Tuttavia, il peggioramento della situazione economica, causato dalla diminuzione dei prezzi del petrolio, è ulteriormente aggravato dal drastico aumento delle nascite. In questa parte del mondo si è verificata una vera e propria esplosione demografica, con un tasso medio di crescita del 2,7% negli anni Novanta. Ancor più stupefacente è il fatto che il 40% della popolazione della regione sia al di sotto dei diciassette anni. Oggi, la disoccupazione nella classe d'età fra i diciotto e i venticinque anni, è intorno al 20%, e rappresenta una bomba politica a orologeria in tutti i paesi mediorientali.³³

Incapaci di diversificare l'economia e di creare nuove fonti d'occupazione, i paesi del Golfo si trovano di fronte ad alternative egualmente spiacevoli: o dare a questi giovani un impiego nel settore pubblico, aggravando la spirale del debito, o sanare il deficit tagliando i posti di lavoro pubblici e facendo esplodere la disoccupazione giovanile, creando così un terreno fertile per il reclutamento da parte delle sette islamiche militanti.

In entrambi i casi, nel breve periodo - ovvero nei prossimi, anni - mentre la Russia e gli altri paesi non aderenti all'OPEC inondano il mercato di greggio a basso costo, il reddito reale pro capite continuerà a diminuire; nei paesi del Golfo Persico meridionale, già oggi il reddito pro capite è solo il 40% di quello raggiunto vent'anni fa all'apice del boom petrolifero e ci si aspetta che continui a declinare, con il conseguente rischio di disordini sociali e di sollevazioni politiche.

L'Arabia Saudita

35

I sauditi sono soliti dire: «Mio padre viaggiava a dorso di cammello, io in automobile, mio figlio su un jet privato, suo figlio tornerà al cammello». Benché un quarto di tutte le riserve mondiali di petrolio si trovino nel loro sottosuolo, fra i sauditi è diffusa la sensazione, vissuta fatalisticamente, di vivere in un paese con le ore contate. E, molto probabilmente, il modo in cui decideranno di usare queste ore determinerà le modalità di uscita del mondo dall'era del petrolio.

L'Arabia Saudita, terra dei luoghi santi dell'Islam, della Mecca e di Medina, nonché patria del profeta Maometto, è un caso esemplare del contrasto fra tradizione e modernità, fra vita spirituale e vita secolare. Solo cinquant'anni fa l'Arabia Saudita era una società composta da tribù nomadi che non vivevano molto diversamente dai propri antenati, ai tempi di Maometto. Nel 1950, in tutto il paese non c'era una sola strada asfaltata. La città portuale di Gidda era cinta da

mura, contava 50.000 abitanti, e non aveva un collegamento ferroviario con la capitale, Riyadh. Quando, nel 1963, il presidente Kennedy venne assassinato, c'era una sola stazione radiofonica. Oggi ci sono migliaia di chilometri di autostrade che attraversano il paese, connettendo ogni città e villaggio. Gidda è una città d'importanza mondiale, con 1,5 milioni di abitanti; i suoi viali sono costeggiati da palazzi per appartamenti e uffici; il suo aeroporto copre una superficie di circa 100 chilometri quadrati, il 50% in più della superficie complessivamente coperta dagli aeroporti J.F. Kennedy, La Guardia, O'Hare e Los Angeles International. Il nuovo aeroporto di Riyadh è grande il doppio di quello di Gidda, e supera i 200 chilometri quadrati. Nel 1978, nel paese c'erano pochi apparecchi televisivi e solo 125.000 telefoni. Oggi, l'Arabia Saudita ha 250 apparecchi televisivi per 1000 abitanti, e un sistema satellitare composto da undici stazioni mobili e tre stazioni fisse terrestri che offrono collegamenti telefonici con tutto il mondo. Il primo impianto di generazione elettrica fu installato solo alla fine della seconda guerra mondiale. All'inizio del ventunesimo secolo l'intera Arabia Saudita è servita da energia elettrica e la maggior parte delle costruzioni è dotata di impianti di condizionamento.

Eppure, in Arabia Saudita alle donne non è permesso guidare l'automobile, le sale cinematografiche sono proibite, non ci sono organismi di governo eletti dal popolo e, per giudicare su controversie relative a matrimoni, divorzi ed eredità, ci si affida a tribunali religiosi.

Il governo saudita deve la propria esistenza a un accordo, stilato duecentocinquant'anni fa, fra capi religiosi e tribali. Nel 1745 Muhammad ibn Saud, che governava sul villaggio di ad-Diriyyah, in un'oasi, strinse alleanza con Abd al-Wahhab, un saggio che faceva proseliti predicando una rigorosa pratica dell'Islam. L'accordo fra i due imponeva al governatore saudita di accettare l'interpretazione dell'Islam di Wahhab come base per l'azione di governo; in cambio, il leader religioso riconosceva il governo come istituzione politica legittima. Con il passare degli anni, l'accordo

venne tenuto vivo attraverso matrimoni fra le due famiglie. Nei primi decenni del Novecento il fondatore della moderna Arabia Saudita, re Abd al-Aziz Al Saud ar ibn Saud, riunì sotto il suo controllo tutti i territori della penisola arabica, con il contributo fondamentale della setta wahhabita.

In Arabia Saudita la leadership religiosa wahhabita è, per influenza, seconda solo alla famiglia reale. In una certa misura, i wahhabi esercitano un controllo diretto sia sull'educazione sia sulle questioni sociali, e sono consultati dalla corte sugli affari di Stato. Il governo, da parte sua, finanzia la costruzione di moschee, promuove attività religiose e retribuisce i capi religiosi. *All'ulama* è garantito il monopolio delle pratiche religiose e una certa porzione di controllo sulla vita sociale del popolo saudita; in cambio, il governo ha la garanzia di una leadership religiosa accomodante.

L'Arabia Saudita è, perciò, una sorta di ibrido: una parte autocratica, l'altra teocratica. In passato, la famiglia reale ha considerato la presenza wahhabita una specie di polizza assicurativa. Il governo ha proibito il costituirsi di organizzazioni civiche nel paese e ha lasciato alla leadership religiosa il controllo e il giudizio sulla vita sociale e culturale dei sauditi. È interessante notare - dato che altre forme di impegno civile sono proibite - come le moschee siano diventate l'unico luogo dove gli individui possono liberamente incontrarsi, esprimere opinioni e dibattere. Non sorprende, dunque, che gran parte della rabbia e della disperazione, soprattutto fra i giovani, si esprima attraverso la partecipazione a manifestazioni e discussioni di carattere religioso. Di conseguenza, le istituzioni religiose locali sono probabilmente il terreno di coltura di una nuova generazione di fondamentalisti, determinata a rovesciare l'autorità politica statale, esattamente come in passato sono state una valvola di sicurezza, a tutela degli interessi della famiglia reale saudita: molto dipende da come il governo riuscirà a reagire a una situazione economica in continuo peggioramento, dopo anni di prezzi bassi sul mercato mondiale del petrolio.

In poco più di una generazione, l'Arabia Saudita è radicalmente cambiata. Gestire la modernità e il processo di globalizzazione in un paese legato a uno stretto codice di comportamento sociale di matrice islamica si è dimostrato difficile; secondo alcuni, impossibile. I problemi del paese sorgono, in buona parte, da una crescita economica troppo rapida, seguita da un'altrettanto drastica decelerazione. L'altalena dei prezzi mondiali del petrolio è responsabile dell'ascesa e della caduta dell'economia: il petrolio, quindi, è tanto un dono quanto una maledizione.

Nel 1970 l'Arabia Saudita aveva una popolazione di 6,2 milioni di persone, un PIL di 4 miliardi di dollari e un reddito pro capite di soli 2800 dollari. Oggi la popolazione tocca i 22,7 milioni di abitanti, il 43% dei quali ha meno di 14 anni; il PIL è di 173 miliardi di dollari e il reddito pro capite di circa 8500.

38

In meno di trent'anni, la forza lavoro è passata dal 64% di occupati in agricoltura a meno del 6, con il 47% impiegato nell'industria e il 47 in servizi di varia natura. Il fenomeno dello spopolamento delle aree rurali è stato più rapido che in qualsiasi altro paese in via di sviluppo. Già nel 1995, quasi l'80% della popolazione viveva in aree urbane, e uno su cinque in aree metropolitane con più di un milione di abitanti.

Il tasso di alfabetizzazione della popolazione saudita è cresciuto dal 15 al 63%; il 10% dei giovani sauditi abbandona la scuola prima della licenza elementare, e soltanto il 5% dei maschi e il 2% delle femmine entra nella scuola secondaria. E, comunque, gran parte di ciò che i giovani sauditi apprendono ha più a che vedere con l'istruzione religiosa che con una significativa preparazione professionale in un'economia diversificata.

In un'economia fondata su un'unica risorsa, una forza lavoro scarsamente istruita non è un buon viatico per il futuro. L'unica soluzione che il governo ha saputo trovare per assorbire l'afflusso di nuove forze sul mercato del lavoro è stato il settore pubblico. Nel 1997, più della metà della forza

lavoro adulta in Arabia Saudita era stipendiata dallo Stato. Finanziare tutto ciò, oltre ai servizi messi a disposizione dei cittadini durante gli anni del boom petrolifero, costa molto: più di 50 miliardi di dollari l'anno. Dato che le entrate petrolifere non riescono a tenere il passo con i bisogni economici e sociali di una popolazione in forte crescita, il governo è costretto a spendere più di quanto incassi, e negli ultimi quindici anni ha chiuso in deficit il bilancio.

A tutto questo si aggiunga il fatto che il rinnovamento delle infrastrutture interne e di trasporto, degli impianti di raffinazione e di estrazione, e degli oleodotti rappresenterà per il paese un costo di circa 350 miliardi di dollari nei prossimi vent'anni, solo per mantenere l'economia e l'industria petrolifera. La dimensione del problema, a questo punto, è chiara.

L'Arabia Saudita è nei guai. Le sue difficoltà sono analoghe a quelle con cui si stanno confrontando tutti gli altri paesi produttori di petrolio del Golfo Persico: come sopravvivere politicamente ai pericolosi anni che li separano dal picco globale della produzione petrolifera, quando il Medio Oriente diventerà nuovamente il fornitore in ultima istanza dell'economia globale.

Ciò che più teme il governo saudita è la moltitudine di giovani, scarsamente istruiti e senza prospettive di un'occupazione dignitosa, che devono essere assistiti da uno Stato già sommerso dai debiti. Nel 1998, il PIL saudita è diminuito del 7%, e il deficit è salito a 13 miliardi di dollari. Nel frattempo, il reddito pro capite continua a scendere al ritmo di circa il 2,9% l'anno.

Verso quale democrazia?

Nel Golfo Persico è diffusa la preoccupazione che «il coperchio sia sul punto di saltare». Gran parte della pressione che sale dal basso è, certamente, motivata da considerazioni economiche, ma è anche di natura politica. Quelli del Golfo sono alcuni dei governi più repressivi e dispotici

del mondo: secondo l'indice di libertà economica stilato da World Audit, la maggioranza dei paesi musulmani sono classificati fra i più restrittivi: Arabia Saudita, Iraq, Libia, Sudan e Somalia fra i primi otto.

I giovani musulmani, già furiosi per una congiuntura economica sfavorevole, non riescono più a tollerare la politica autoritaria dei loro governi. Questi ultimi, a loro volta, sembrano paralizzati da problemi economici impossibili da risolvere e, nello stesso tempo, non sono disponibili a creare i presupposti per permettere alla popolazione di esprimere il proprio dissenso e offrire visioni politiche alternative per il futuro.

I fondamentalisti affermano di avere la risposta che manca ai governi mediorientali. I giovani sono disponibili ad ascoltare il loro messaggio e accorrono a frotte a ingrossare le fila del nuovo «ismo»: l'islamismo.

Per i giovani, una figura come quella di Osama bin Laden è particolarmente affascinante. Lo sentono scagliarsi contro i governi corrotti e la società ingiusta in cui vivono. I suoi trionfi militari danno loro la speranza di una vittoria finale sulle forze che hanno creato tutti i problemi del mondo. Bin Laden, un prodotto della severa educazione Wahhabi saudita, è considerato da molti giovani un grande riformatore, uno che non ha paura di scontrarsi tanto con gli «ipocriti» in casa propria, quanto con gli «infedeli» nel resto del mondo, per far prevalere la «vera» fede. Il fatto che sia nato da una ricca famiglia saudita e che abbia scelto di rinunciare ai propri privilegi per combattere la *jihad* (la guerra santa) non fa che rafforzare la sua immagine presso i giovani musulmani mediorientali e nel resto del mondo.

Secondo alcuni osservatori, bin Laden, legando le sorti della monarchia saudita alle odiose macchinazioni dell'America e delle potenze occidentali, con un unico, astuto colpo, ha creato un nuovo, potente richiamo politico per mobilitare le giovani generazioni di integralisti islamici. L'opportunità gli si è offerta quando il governo saudita permise, durante la guerra del Golfo, a truppe americane

e occidentali di acuartierarsi sul territorio nazionale. Bin Laden denunciò la decisione, gettando il guanto della sfida: «Aprendo la penisola araba ai crociati» proclamò «il regime ha disobbedito a Dio ۞ ha agito in contrasto con quello che hanno stabilito i suoi profeti». Per questa ragione, secondo bin Laden, i leader sauditi non possono più essere considerati musulmani.

Per i giovani musulmani, ormai poveri e in balia di un mondo che sembra indifferente al loro destino, il messaggio del fondamentalismo, nella sua semplicità, suona veritiero. Il mondo, viene detto loro, è diviso in due campi: i veri fedeli dell'Islam e i barbari. Scegliere il primo significa seguire le orme di Maometto e avere un ruolo nella redenzione del mondo. La sola idea di poter partecipare a una *jihad* per cambiare il destino dell'uomo deve essere elettrizzante per dei ragazzi ai quali, per tutta la vita, è stata negata anche la minima considerazione. Siamo di fronte a un tipo di partecipazione diverso da quello che in Occidente siamo abituati ad associare all'attività politica, al voto e alle elezioni. Per la maggior parte dei giovani mediorientali la nostra democrazia civile non possiede alcuna attrattiva: è un'idea con cui non hanno la minima familiarità; nel loro mondo chi comanda, comanda senza mezzi termini. Ma nell'Islam, viene detto loro, tutti sono uguali, ognuno conta. Abbracciando la causa fondamentalista, le nuove generazioni si guadagnano l'accesso a un mondo in cui la loro dignità individuale è ripristinata, la vita torna ad avere un significato e la causa è giusta. Dunque, un messaggio potente e corroborante.

Nel suo *The Arab Predicament*, Fuad Ajami descrive il fascino dell'interpretazione fondamentalista della partecipazione:

Il richiamo fondamentalista ha risonanza perché invita gli uomini a partecipare ... in contrasto con una cultura politica che riduce il cittadino a uno spettatore e gli chiede di lasciare la politica ai governanti. In un momento in cui il futuro è incerto, li mette in contatto con una tradizione che diminuisce perplessità e confusione.⁴⁷

L'atteggiamento degli Stati Uniti e dell'Occidente rispetto alla creazione di reali democrazie nella regione del Golfo Persico è sempre stato ambivalente. Certamente, il tipo di partecipazione che i fondamentalisti hanno in mente suona come un anatema alle orecchie dei leader politici americani; ma anche il tipo più benigno di democrazia che esiste nella forma della politica elettorale è stato considerato con sospetto nei circoli del potere di Washington. I fondamentalisti hanno, perciò, buon gioco nell'accusare di doppiezza il governo americano: da una parte promuove la democrazia a casa propria e dall'altra offre supporto ai regimi dittatoriali mediorientali. Queste accuse hanno un fondo di verità. Gli Stati Uniti e i loro alleati occidentali temono che estendere le libertà democratiche nella regione del Golfo possa portare a massicce vittorie dei partiti oltranzisti e fondamentalisti nelle elezioni. La prospettiva che possa ripetersi quanto accaduto in Iran provoca nervosismo nei politici americani. Per questa ragione, gli Stati Uniti hanno deciso di appoggiare gli attuali regimi autocratici, come quello dell'Arabia Saudita, preferendo la relativa calma della repressione all'instabilità che potrebbe accompagnare la continua alternanza e contrattazione della democrazia rappresentativa. Come ha detto un professionista saudita: «L'America vuole un impero senza cattivi odori».

Dopo l'attacco dell'11 settembre alle Torri gemelle del World Trade Center e al Pentagono, anche per i funzionari governativi americani e i leader politici del Golfo Persico è diventato chiaro che in Medio Oriente la democrazia sta avanzando, che piaccia o meno, e che sarebbe meglio cominciare ad abituarsi all'idea. Solo due mesi dopo gli attacchi, il principe Walid bin Talal, un imprenditore miliardario e uno dei più ricchi uomini d'affari del mondo, oltre che membro della famiglia reale saudita, ha pronunciato parole che in precedenza sarebbero sembrate inaudite, reclamando una trasformazione delle leggi saudite in modo da portare il paese almeno a una forma limitata di democrazia. Temendo l'acuirsi dello scontento politico fra

i giovani sudditi sauditi - la maggioranza dei terroristi coinvolti nel dirottamento aereo dell'11 settembre erano di questa nazionalità - il principe ha affermato che è venuto il momento di dare una risposta alla questione della rappresentanza democratica, fino a ieri considerata argomento tabù. «Se la gente⁴⁹ può parlare più liberamente ed essere maggiormente coinvolta nel processo politico» ha dichiarato «è più facile contenerne gli ardori e incanalarli a vantaggio del sistema.»

Il principe Walid ha affermato di non essere favorevole alla soppressione della monarchia come forma di governo per l'Arabia Saudita, ma di essere dell'idea che l'attuale Consiglio del Re possa essere eletto, anziché nominato dal re stesso. Ciononostante, le sue dichiarazioni hanno creato fermento nel paese, inducendo molti a domandarsi se non si fosse finalmente aperta la strada verso una maggiore tolleranza nei confronti della libera espressione del pensiero politico.

Per gli USA e per gli altri paesi occidentali, la cosa più difficile da accettare è il rischio che l'espressione della democrazia in Medio Oriente possa portare i fondamentalisti al potere in tutta la regione. Un rischio che è quasi una certezza. Gli occidentali preferirebbero veder emergere partiti laici, tolleranti, rispettosi dei diritti delle donne, ma la realtà è che quasi tutti i movimenti politici che in questa parte del mondo godono di un qualche sostegno popolare fanno riferimento a un valore ben diverso: l'islamizzazione della società e del mondo. Secondo Karen Anderson, per capire la ragione di questo fatto, è necessario aver chiara la differenza fra il concetto occidentale di politica e quello islamico. In Occidente, associamo la politica al «governo del popolo, per il popolo, attraverso il popolo»; nel mondo islamico, invece, non è il popolo, ma Dio a legittimare il governo. L'idea che possa essere il popolo, e non Dio, a fondare la legittimità di un governo è considerata dalla maggioranza dei musulmani una bestemmia, una sorta di diretta «usurpazione della sovranità di Dio».⁵⁰

Le riforme democratiche hanno permesso a molti politici fondamentalisti di essere eletti. Una volta al potere, però, spesso gli estremisti islamici hanno approvato leggi restrittive delle riforme democratiche che avevano permesso loro di vincere. Un caso esemplare è quello algerino. Il Fronte di liberazione nazionale (FLN), che aveva governato l'Algeria come partito unico fin dal 1962, anno della conquista dell'indipendenza dalla Francia, nel 1989 promulgò una nuova Costituzione che legalizzava gli altri partiti politici. Nelle elezioni nazionali del 1991, il Fronte di salvezza islamica (FIS), un partito islamico fondamentalista, conquistò al primo turno molti seggi in Parlamento. Ci si aspettava che il FIS vincessesse anche il secondo turno, ottenendo la maggioranza e, quindi, il governo. A quel punto l'esercito algerino intervenne, annullando le elezioni e impedendo al FIS di conquistare il potere. Se questo partito avesse vinto, l'Algeria sarebbe stata riformata, seguendo linee di stretta osservanza della legge coranica: tribunali religiosi avrebbero preso il posto delle corti civili, sarebbe stato reso obbligatorio il rispetto del codice vestimentario tradizionale e sarebbero state vietate tutte le espressioni culturali incompatibili con l'ortodossia islamica. Il FIS reagì, gettando il paese nella guerra civile. Dopo l'arresto dei suoi leader, il governo fu assunto dai militari.

Inversioni di rotta, come quella dell'Algeria, non hanno rallentato il processo di «democratizzazione» del Medio Oriente. I movimenti fondamentalisti di tutta la regione si stanno organizzando in partiti politici e premono per le riforme elettorali. In Kuwait, dove già esiste un'Assemblea parlamentare, molti osservatori temono che una maggioranza islamizzata possa mettere in discussione le fragili riforme democratiche attuate finora. «La democrazia ha portato i fondamentalisti islamici in Parlamento⁵²» dice Ahmed E. Bishara, un liberale che guida l'Unione democratica nazionale del Kuwait, ma «si rischia di finire con un Parlamento che legifera contro la libertà popolare.» Nel Parlamento kuwaitiano i fondamentalisti hanno già votato per

la separazione tra maschi e femmine nelle università, si sono opposti all'estensione del diritto di voto alle donne e stanno premendo per sostituire i tribunali civili con la legge e le corti islamiche. Kahlid ai-Essa, leader del movimento conservatore kuwaitiano Solari, sostiene che «si può creare un'organizzazione democratica, ma questa deve ispirarsi all'Islam». Per ai-Essa e per i fondamentalisti come lui, l'Islam è una «condizione necessaria» per la democrazia.

In ogni modo, il destino dei paesi del Golfo Persico e del Medio Oriente nel suo complesso dipende dalla misura in cui milioni di giovani poveri e senza speranze vedranno l'Islam come l'unica, reale promessa di un futuro migliore. Se finiranno per considerarsi guerrieri di Allah, destinati a camminare sulla giusta strada segnata da Maometto e a raddrizzare i torti di una società ingiusta, potrebbero trasformarsi in una forza irrefrenabile. Se gli attuali governanti non troveranno una soluzione per reagire a una congiuntura economica in progressivo deterioramento, e continueranno a governare attraverso una combinazione di autocrazia e sistematica repressione dell'opposizione, è probabile che, nei prossimi dieci anni, il movimento fondamentalista finirà per capovolgere numerosi regimi mediorientali, adottando un modello di Stato islamico simile a quello dell'Iran. L'ascesa al potere di movimenti fondamentalisti giovani e forti in tutto il Golfo Persico, nel momento in cui la produzione globale di petrolio starà per raggiungere il picco, è una prospettiva alla quale il resto del mondo deve prepararsi. Anzi, a questo stadio avanzato, resta poco da fare per evitare ciò che molti ritengono ormai inevitabile.

Politicizzare il petrolio

Per quanto i leader politici e gli strateghi della geopolitica temano l'islamizzazione del petrolio mediorientale, la realtà è che giocare la carta petrolifera non è mai facile, come l'OPEC ha imparato nel corso degli anni. In passato, quando i maggiori produttori di petrolio hanno tagliato la

produzione per sostenere i prezzi sul mercato mondiale, il risultato è stato una punta di breve durata del prezzo al barile, con un declino nel medio-lungo periodo sia della quota di mercato sia del prezzo, causato dalla ricerca di fonti di approvvigionamento più economiche da parte delle compagnie petrolifere. Fu certamente questo il caso che si verificò negli anni Settanta e Ottanta. Negli anni Settanta, cogliendo il mondo impreparato, i produttori del Golfo Persico sono riusciti a trarre il massimo vantaggio dall'embargo petrolifero e dai tagli della produzione, realizzando ingenti profitti per circa un decennio. Ma già negli anni Ottanta le compagnie petrolifere avevano individuato fonti alternative di rifornimento, costringendo i produttori mediorientali a ribassare i prezzi, e riducendo la loro quota sul mercato mondiale.

Nelle circostanze che si verificheranno con il raggiungimento del picco della produzione globale di petrolio greggio, la dinamica potrebbe essere molto differente. Questa volta non saranno disponibili altre fonti di approvvigionamento a buon mercato del volume necessario a coprire qualsiasi deficit che potrebbe aprirsi se i paesi del Golfo tagliassero la produzione e aumentassero i prezzi. Come abbiamo visto, per quanto i geologi siano in disaccordo su quando la produzione petrolifera toccherà il picco, sono concordi nel ritenere che, una volta raggiuntolo, i due terzi delle riserve petrolifere globali saranno nel sottosuolo del Medio Oriente. Così, che gli attuali regimi autocratici restino al potere o siano rovesciati dai fondamentalisti, il potere sul petrolio è destinato a tornare completamente nelle mani delle nazioni del Golfo Persico. E quando ciò accadrà, chiunque detenga il potere in quella regione si troverà nella posizione di dettare le proprie condizioni al mercato mondiale, per il semplice fatto che non ci sarà un altro modo per procurarsi petrolio in abbondanza.

A questo punto, che al potere vi sia la vecchia guardia oppure i nuovi militanti integralisti, l'unica vera differenza potrebbe essere la seguente: nel primo caso, i governi del

Medio Oriente utilizzeranno questo predominio per ottenere esclusivamente vantaggi di natura economica; nel secondo, il flusso di petrolio sarà condizionato anche da considerazioni di natura politica. Da un punto di vista puramente utilitaristico, mantenere un flusso consistente di petrolio - per quanto a prezzi drasticamente più elevati - è la scelta razionale, dal momento che massimizza le entrate dei paesi produttori. D'altra parte, non è impossibile immaginare situazioni in cui i regimi fondamentalisti decidano di chiudere il rubinetto, almeno per un breve periodo, tenendo il mondo in ostaggio, nella speranza di strappare concessioni di natura politica della più varia natura.

E questo è, infatti, ciò che il presidente iracheno Saddam Hussein ha tentato di fare l'8 aprile 2002, annunciando che il suo paese avrebbe sospeso completamente ogni esportazione di petrolio per trenta giorni in segno di protesta contro le incursioni israeliane nei «territori palestinesi». L'Iraq è il sesto maggior fornitore di petrolio degli Stati Uniti, con una quota del 9% delle importazioni americane. Le esportazioni irachene assommano a 2 milioni di barili di greggio al giorno, pari al 4% del volume di greggio scambiato quotidianamente sui mercati mondiali. In precedenza, il ministro degli Esteri iraniano Kamal Kharrazi aveva annunciato che il suo paese avrebbe appoggiato un embargo petrolifero - l'Iran è il secondo maggior produttore di petrolio fra gli aderenti all'OPEC - se gli altri paesi arabi avessero deciso di imboccare la stessa strada dell'Iraq. Anche la Libia ha dichiarato la propria disponibilità a aderire a un embargo, se il fronte arabo si fosse presentato unito.

L'Arabia Saudita - primo produttore OPEC - dichiara di opporsi all'utilizzo del petrolio come arma e sottolinea che un embargo non farebbe che danneggiare i paesi arabi produttori, che si dovrebbero confrontare con un crollo delle entrate petrolifere, le quali, per molti paesi del Golfo Persico, rappresentano oltre due terzi del bilancio dello Stato.

Per ora, nell'opinione pubblica prevale l'idea che ci siano «scarse possibilità» che i produttori di petrolio arabi ta-

golino le forniture di greggio per esercitare una pressione su Israele e sugli Stati Uniti. Ma le cose possono cambiare rapidamente, con conseguenze profonde e di vasta portata.

Per quanto Russia, Norvegia, Canada, Messico e altri paesi produttori non aderenti all'OPEC possano, nel breve periodo, aumentare la produzione per mantenere un'offerta adeguata, basterebbe una riduzione parziale delle forniture petrolifere dei paesi OPEC per far decollare il prezzo al barile anche sopra i 50 dollari; e se questo accadesse, si innescerebbe una devastante recessione dell'economia globale.

Indipendentemente dalla minaccia di un embargo, i prezzi del petrolio sono destinati ad aumentare, una volta raggiunto il picco della produzione, e i paesi produttori del Medio Oriente saranno i beneficiari economici e politici di tale rialzo. Il trasferimento di ricchezza dalle potenze industriali come gli Stati Uniti ai paesi del Golfo Persico sarà immenso; la forte dipendenza dal petrolio d'importazione potrebbe significare un flusso di 100 miliardi di dollari l'anno in uscita dalle casse americane, aggravando ulteriormente il già rilevante deficit della bilancia commerciale statunitense. Per i paesi del Golfo, questa nuova situazione potrebbe comportare un aumento delle entrate nell'ordine di 160 miliardi di dollari l'anno a partire dal 2010, o un aumento di 1500 miliardi di dollari della ricchezza accumulata fra oggi e allora.

Questa incredibile fortuna, generata in un tempo così breve, avrà un forte effetto anche sulla cultura araba, oltre che sulla politica regionale del Medio Oriente. Il flusso di ricchezza a senso unico dal resto del mondo verso il Golfo Persico probabilmente non farà che acuire le tensioni fra i paesi musulmani e l'Occidente, portando a un più aperto conflitto e a una lunga, dolorosa battaglia fra i due contendenti.

Un collasso globale

Le conseguenze di un'eventuale ascesa al potere dei fondamentalisti islamici nei paesi del Medio Oriente, proprio nel momento in cui la produzione petrolifera globale sta raggiungendo il picco, sarebbero avvertite ben oltre i distributori di carburante. I governi e le società energetiche si stanno già attivando per diversificare il proprio portafoglio energetico. Per l'immediato futuro, la maggiore attenzione viene posta sull'esplorazione e l'estrazione del gas naturale. Ma se puntassero troppo su quest'ultimo in attesa che la produzione petrolifera raggiunga il picco, le società energetiche e le compagnie elettriche rischierebbero di provocare una seconda crisi energetica, subito dopo quella del petrolio, con effetti probabilmente devastanti per l'economia globale.

Altri stanno promuovendo un maggior ricorso al carbone, allo sfruttamento delle sabbie bituminose, del petrolio pesante e degli scisti petroliferi, tutti combustibili che producono l'emissione di elevate quantità di anidride carbonica (CO₂) e che potrebbero, perciò, accentuare la già pericolosa tendenza in corso all'innalzamento della temperatura terrestre.

Se la strada del gas naturale può portare in un vicolo cieco, il passaggio a combustibili più «sporchi» potrebbe condurre a uno scontro frontale fra geopolitica e protezione della biosfera, mettendo a repentaglio la sopravvivenza non solo della civiltà umana ma anche dello stesso pianeta.

Cavarsela con il gas naturale

La buona notizia è che il gas naturale è un combustibile fossile meno inquinante del petrolio e del carbone (per unità equivalente di energia prodotta, petrolio e carbone producono rispettivamente un terzo e due terzi di CO₂ in più). Gli ambientalisti e i leader politici stanno spingendo da anni l'industria ad accelerare la transizione al gas naturale - il combustibile più pulito - nella speranza di contenere le nocive emissioni di gas serra.

La cattiva notizia è che nuovi studi ipotizzano che la produzione globale di gas naturale raggiungerà probabilmente il picco subito dopo quella del petrolio; alcuni analisti indicano come data il 2020. Secondo la Royal Dutch Shell, «la scarsità [di gas naturale] potrebbe³cominciare a manifestarsi già nel 2025». A peggiorare il problema, gran parte delle rimanenti riserve di gas naturale - oltre il 40% del totale - si trovano in Medio Oriente. Con le riserve nordamericane prossime al picco, a partire *dalla terza* decade del nuovo secolo ci troveremmo, insieme a molte altre regioni del mondo, sempre più alla mercé dei grandi produttori mediorientali e della Russia, una situazione che ridurrà ulteriormente le nostre alternative energetiche e renderà aleatorio il futuro dell'economia globale.

Spesso il gas si trova in regioni in cui sono presenti grandi giacimenti di petrolio o carbone, ma anche in aree che ne sono totalmente prive. In passato, il gas naturale è stato utilizzato per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua, mentre oggi viene sempre più impiegato per la generazione di elettricità, oltre che per i trasporti. I progressi conseguiti nella tecnologia di liquefazione del gas hanno ridotto i costi di produzione e il prezzo del gas liquido al punto da farne un diretto concorrente della benzina, almeno per alcune attività collegate ai trasporti.

Attualmente, negli Stati Uniti, circa il 14% del gas naturale è utilizzato per la generazione di elettricità. Questo dato è destinato ad aumentare drasticamente nel corso del

prossimo decennio. Oggi, negli USA sono in costruzione 272 centrali elettriche alimentate a gas, che ci si aspetta entrino in servizio nei prossimi dieci anni, rendendo la rete elettrica nordamericana quasi completamente dipendente dal gas naturale. Le società elettriche preferiscono le centrali a gas a quelle a carbone, olio combustibile o energia nucleare, perché richiedono minori investimenti di capitale, hanno tempi di costruzione più brevi, sono più efficienti e producono meno emissioni inquinanti.

L'US Department of Energy stima che il consumo di gas naturale aumenterà dai circa 270 miliardi di metri cubi del 1999 a un volume compreso fra i 400 e i 450 miliardi di metri cubi entro il 2020. Quasi il 57% di questo incremento sarà dovuto all'entrata in servizio delle nuove centrali elettriche alimentate a gas; il rimanente sarà destinato a soddisfare la crescente domanda stimata dei settori residenziale, commerciale, industriale e dei trasporti.

I nuovi modelli computerizzati di analisi delle residue riserve di gas naturale nordamericane insinuano che l'entusiasmo per questo combustibile fossile, come alternativa a un petrolio sempre più scarso, potrebbe essere ingiustificato. Secondo uno studio condotto dall'ingegnere elettrotecnico Richard Duncan, la produzione statunitense di gas naturale ha raggiunto il picco nel 1971 - un anno dopo la produzione petrolifera - con 270 miliardi di metri cubi. Dal 1971 al 1999 è poi diminuita stabilmente dello 0,50% l'anno. Duncan prevede un picco secondario nel 2007, con circa 250 miliardi di metri cubi, seguito da un costante declino della produzione, a un tasso dell'1,5% l'anno, fino al 2040. Con le stime di crescita della domanda di gas naturale al 62%, da oggi al 2020 - e con la sola domanda di gas per alimentare le centrali elettriche, che, nello stesso periodo, è destinata a triplicare - le rimanenti riserve si esauriranno rapidamente. Allo stesso modo, ci si aspetta il picco della produzione canadese nel 2005, dopodiché comincerà a calare mediamente del 4,3% nei successivi trentacinque anni.¹⁰ Il picco di quella messicana è previsto per il 2011,

con circa 19 miliardi di metri cubi, per poi diminuire al ritmo del 2,7% l'anno nei successivi ventinove anni.

Nel complesso, il Nordamerica raggiungerà il picco della produzione di gas naturale nel 2007, con poco più di 350 miliardi di metri cubi; da allora al 2040, la produzione declinerà del 51%, a una media annua del 2,1%. Questi dati preoccupano alcuni esperti, che si domandano quali conseguenze potrà avere il declino della produzione nordamericana di gas naturale proprio nel momento in cui la maggior parte della rete elettrica sarà servita da centrali alimentate a gas. Nella sua prolusione al congresso della Geological Society of America del 2000, Duncan ha previsto, a partire dal 2012, blackout temporanei ma continui della fornitura di energia elettrica negli Stati Uniti, a causa delle difficoltà di approvvigionamento di gas naturale.

Potremo importare gas dall'estero - cosa alquanto probabile -, ma non costerà poco. Gran parte del gas naturale viene trasportato attraverso gasdotti, via terra. Può essere liquefatto e movimentato via mare in cisterne refrigerate, ma a un costo decisamente superiore: la refrigerazione necessaria per mantenere il gas allo stato liquido comporta spese supplementari. Ciononostante, con l'aspettativa di rialzo sia del prezzo del petrolio sia di quello del gas naturale, l'importazione di quest'ultimo potrebbe diventare economicamente competitiva entro la fine del decennio in corso. Il gas naturale algerino viene già trasportato via mare verso gli Stati Uniti, e il Giappone riceve rifornimenti periodici, sempre via mare, dall'Alaska e dal Medio Oriente.

Ma, secondo un numero crescente di geologi, l'importazione¹⁵ di gas naturale non farà che posticipare di qualche anno la resa dei conti. Campbell ritiene che il picco della produzione globale di gas naturale sarà raggiunto già nel 2020, dopodiché l'economia globale sarà costretta ad affidarsi sempre più al Medio Oriente e all'ex Unione Sovietica per soddisfare il proprio fabbisogno di gas, a prezzi sempre più elevati. L'Iran, una nazione islamizzata alla fine degli anni Settanta, detiene il 16% delle riserve mondia-

li di gas; Qatar ed Emirati Arabi Uniti un altro 10%: cifre che attribuiscono a questi tre paesi un ruolo chiave nel futuro scenario energetico globale. Dunque/anche nel caso del gas naturale, come in quello del petrolio, il Medio Oriente diventa il principale produttore in un mondo che comincia a esaurire tanto il primo quanto il secondo.

A livello globale, la lotta per accaparrarsi il greggio e il gas naturale comincerà a intensificarsi nella seconda decade del ventunesimo secolo. E questa volta i paesi in via di sviluppo - come la Cina e l'India - saranno dipendenti dai combustibili fossili quanto lo sono le nazioni più industrializzate, rendendo la competizione per entrambe le fonti di energia un fenomeno realmente globale. Probabilmente, la crescita costante dei prezzi getterà lo scompiglio nell'economia mondiale, aumentando le prospettive di iperinflazione, recessione e depressione. Ogni attività economica a valle sarà condizionata dalla minore disponibilità di petrolio e gas naturale. I giorni dell'energia a basso costo stanno tramontando e, in questa fase, non è realistico immaginare per il futuro i medesimi tassi di crescita conosciuti nel Novecento. Se la situazione diventasse così grave da compromettere la distribuzione di energia elettrica, provocando blackout e cali di tensione in tutto il mondo, potremmo assistere al potenziale crollo dell'intera infrastruttura che supporta la complessità di un'economia e una società globali. E se ciò dovesse accadere, il futuro potrebbe essere molto diverso non solo dalla realtà che ci è familiare, ma anche da qualunque cosa possiamo prefigurare o ipotizzare.

Greggio pesante e aumento della temperatura

Geologi ed economisti ci ricordano che la diminuzione delle riserve di petrolio greggio convenzionale e di gas naturale non significa che il mondo stia esaurendo tutte le scorte di combustibili fossili. Ci sono ancora molti giacimenti di carbone, di sabbie bituminose, di greggio pesante,

di scisti petroliferi pronti per essere scoperti, sondati e sfruttati. E lo saranno, non appena le condizioni del mercato energetico li renderanno economicamente vantaggiosi. Queste cosiddette fonti non convenzionali di petrolio sono considerate un estremo rimedio, e i portavoce delle società del settore vanno già magnificandone le potenzialità nei circoli imprenditoriali e presso il grande pubblico. Nel suo *World Energy Outlook* l'International Energy Agency dell'OCSE, con sede a Parigi, prevede che, in concomitanza con l'aumento del prezzo del greggio, i paesi importatori cominceranno la ricerca di fonti alternative non convenzionali. Tale processo potrebbe essere accelerato, se i produttori del Medio Oriente decidessero improvvisamente di alzare i prezzi oppure se, per ragioni commerciali o politiche, riducessero drasticamente la produzione.

Il passaggio a fonti di petrolio non convenzionali esige un pedaggio salato, per la società e per il pianeta. Questi combustibili fossili, infatti, sono più «sporchi» del petrolio e del gas naturale. In un mondo ridotto alla disperazione, molti potrebbero pensare che, pur di mantenere in funzione la rete elettrica e far viaggiare le automobili, non vi sia altra scelta che sacrificare gli interessi a lungo termine della biosfera per quelli a breve termine dell'economia, bruciando quantitativi crescenti di idrocarburi non convenzionali. I carburanti estratti dal carbone, dagli oli pesanti e dalle sabbie bituminose aumenterebbero le emissioni di CO nell'atmosfera, imprimendo un'accelerazione al processo di innalzamento della temperatura terrestre rispetto al decorso previsto dalla comunità scientifica internazionale. Occorre ricordare che gli attuali modelli del surriscaldamento globale presuppongono il consumo di petrolio convenzionale e gas naturale in volumi massicci fino alla metà del ventunesimo secolo. Abbreviare questo periodo di alcuni decenni e incentivare il ricorso alle fonti di petrolio non convenzionali avrà inevitabilmente delle ripercussioni sui tempi dell'aumento delle temperature.

Quanto petrolio non convenzionale dovrà bruciare il

mondo per tenere a galla l'economia globale? Le previsioni più caute stimano un fabbisogno energetico raddoppiato fra il 2000 e il 2040, triplicato entro il 2070 e quadruplicato entro il 2100, per soddisfare le necessità di una popolazione umana in crescita. Questo comporta un aumento del 300% del volume delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, dai 6 miliardi di tonnellate nel 2000 ai 20 nel 2100. Se la transizione al petrolio non convenzionale cominciasse a partire dal 2015, anziché dal 2050, e continuasse, da un lato, in ragione inversa al calo di petrolio convenzionale e gas naturale e, dall'altro, in ragione diretta all'aumento della domanda di energia, le emissioni di CO₂ crescerebbero in misura proporzionale, con un effetto potenzialmente devastante sul clima.

Gli Stati Uniti hanno le maggiori riserve di carbone del mondo. Grandi giacimenti di questo minerale, grosso modo equivalenti a quelli statunitensi, esistono anche nell'ex Unione Sovietica. Invece, Cina, India, Germania, Australia e Sud Africa detengono, ciascuna, fra il 6 e il 12% delle riserve mondiali. Gli Stati Uniti utilizzano il carbone a copertura del 23% circa del proprio fabbisogno energetico primario. Attualmente, il 55% dell'elettricità generata negli Stati Uniti proviene da impianti alimentati a carbone. Gli analisti del settore carbonifero sperano che, con l'aumento dei prezzi di petrolio e gas naturale, la liquefazione del carbone per produrre carburanti sintetici possa costituire un'alternativa competitiva in termini di costi.

Ci si aspetta che, fra oggi e il 2020, Cina e India contino per più del 29% dell'incremento totale stimato del consumo di carbone, ma un picco anticipato della produzione petrolifera potrebbe fare del carbone un elemento chiave nel mix energetico di molte nazioni industriali. Negli Stati Uniti questo minerale sta già vivendo una sorta di rinascimento. Le industrie del settore amano ricordare agli americani che gli Stati Uniti siedono sui più grandi depositi di carbone del mondo, che, se adeguatamente utilizzati, potrebbero sottrarre il paese alla dipendenza dalle importazioni di petro-

lio, soprattutto mediorientale, rendendo gli USA autosufficienti dal punto di vista energetico. Dopo l'11 settembre, il settore carbonifero ha trovato sostegno presso molti politici di Washington, ansiosi di ridurre la dipendenza dell'America dal petrolio del Golfo Persico.

L'amministrazione Bush ha approvato una legislazione che garantisce svariati miliardi di dollari in finanziamenti, crediti d'imposta e sussidi per lo sviluppo di quella che, eufemisticamente, è stata definita da un esponente del settore la «tecnologia del carbone pulito». (Secondo i critici, però, queste nuove tecnologie fanno poco per ridurre le emissioni di CO₂.) Grazie al rinnovato interesse nei confronti del carbone, gli analisti stimano una crescita del suo consumo da un minimo compreso fra l'1 e il 2% a un massimo fra il 3 e il 4% l'anno.

Il geologo Cari Hatfield afferma che, anche accettando la «fantasiosa» ipotesi che gli Stati Uniti abbiano riserve di carbone economicamente estraibile per coprire trecento anni di fabbisogno agli attuali livelli di consumo - queste stime, peraltro, sono state recentemente ritoccate verso il basso -, nel caso in cui i consumi crescano del 4% l'anno, come previsto dai più ottimisti analisti del settore, le medesime riserve coprirebbero il fabbisogno di soli sessantaquattro anni. E questo, sempre secondo Hatfield, nell'ipotesi che l'estrazione di carbone continui al medesimo ritmo, fino a esaurimento delle riserve. Ugualmente importante, nota Hatfield, è il fatto che da 1 tonnellata di carbone possono essere ricavati solo 5,5 barili di combustibile sintetico liquido. Ciò significa, per esempio, che per sostituire solo il 10% dei consumi globali di petrolio del 1996 sarebbe necessario liquefare una quantità di carbone pari al totale estratto negli Stati Uniti negli scorsi dieci anni, corrispondente a un aumento del 50% dell'attuale tasso di estrazione.

Anche le sabbie bituminose e il greggio pesante sono considerati sostituti del greggio convenzionale. I geologi stimano che nelle sabbie bituminose del Northern Alberta, in Canada, ci possano essere 300 miliardi di barili di

petrolio estraibile. Si ritiene che anche il Venezuela possa contare su 300 miliardi di barili di greggio pesante. Le riserve potenziali combinate di Canada e Venezuela sono doppie rispetto a quelle convenzionali dell'Arabia Saudita ed equivalenti al totale delle riserve economicamente sfruttabili di tutto il Medio Oriente.

Grandi giacimenti di sabbie bituminose sono stati rinvenuti in Estonia, Australia, Brasile, Stati Uniti e Cina. Il Center for Heavy Crude and Tar Sands dello United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) stima che la quantità sfruttabile di greggio pesante al mondo sia equivalente a un terzo del totale delle riserve mondiali di gas naturale e petrolio convenzionale: questi idrocarburi, dunque, hanno potenzialmente un ruolo di rilievo nel mix energetico globale. In un recente rapporto, il centro è giunto alla conclusione che «il picco della produzione di greggio convenzionale, combinato con la scarsità materiale e l'aumento dei prezzi [che si verificheranno nella seconda decade del secolo], segnerà l'inizio dello sfruttamento commerciale dei più grandi giacimenti di sabbie bituminose e di oli extrapesanti».

Finora il greggio pesante ha avuto scarso sviluppo a causa della forte vischiosità e degli elevati livelli di zolfo, metalli e azoto che ne rendevano costosa l'estrazione, il trasporto e la raffinazione. Allo stato attuale, il greggio pesante copre solo il 3,5% della produzione mondiale di petrolio. Ma paesi come il Canada e il Venezuela stanno facendo massicci investimenti nell'esplorazione e nella coltivazione di giacimenti di greggio pesante e di sabbie bituminose, nella speranza di colmare il vuoto energetico che si verrà a creare quando la produzione di petrolio raggiungerà il picco. Il Venezuela prevede che, a partire dal 2010, il greggio pesante coprirà il 40% della sua produzione petrolifera complessiva. In Canada, gli osservatori del settore si aspettano che entro la fine del decennio in corso le sabbie bituminose assicureranno il 75% della produzione petrolifera nazionale.³⁴ Insieme, Canada e Venezuela

prevedono, entro il 2010, di produrre un milione di barili al giorno da fonti non convenzionali.

Syncrude Canada, che gestisce la più grande attività di produzione di sabbie bituminose attualmente esistente al mondo, sta già coprendo più del 13% del fabbisogno canadese di petrolio. Recentemente, Shell Canada e Western Oil Sands hanno avviato la costruzione di un impianto di punta per la coltivazione³⁷ delle sabbie bituminose, con un investimento da 2,35 miliardi di dollari, nel nordovest del Canada, scommettendo su questo materiale come combustibile fossile del futuro.

Nonostante l'entusiasmo, il percorso che porterà le sabbie bituminose a essere economicamente competitive con il greggio convenzionale e il gas naturale è disseminato di ostacoli. Tanto per cominciare, per produrre un solo barile di petrolio sono necessarie 2 tonnellate di sabbie bituminose, a loro volta ricavate da una quantità ancora maggiore di rocce estratte da cave a cielo aperto e molite. Poi il petrolio deve essere estratto dalle sabbie con processi che prevedono l'impiego d'acqua calda, solventi o energia termica. Dopodiché, il petrolio estratto deve essere raffinato. Il processo è molto costoso: Syncrude Canada spende circa 12 dollari per produrre un barile di petrolio che, estratto in Arabia Saudita, costa solo 1 dollaro. Syncrude dichiara di riuscire a ricavare un profitto ragionevole, se il prezzo mondiale del petrolio supera i 21 dollari al barile. Gli analisti del settore, invece, affermano che la soglia di prezzo per una produzione economica dalle sabbie bituminose è probabilmente di 25 dollari al barile. La metà delle riserve tecnicamente sfruttabili potrebbe essere potenzialmente trasformata in combustibile liquido, se il prezzo del petrolio al barile salisse a 45 dollari. Benché questa sembri oggi una cifra assai elevata, allorché la produzione mondiale di greggio raggiungerà il picco e il petrolio convenzionale sarà più scarso, un prezzo del genere potrebbe essere la norma. O, almeno, questo è il livello su cui stanno scommettendo gli investitori nel settore delle sabbie bituminose.

Estrarre e raffinare le sabbie bituminose è anche molto inquinante. Syncrude Canada emette 240 tonnellate di biossido di zolfo al giorno, venticinque volte la quantità emessa da una raffineria convenzionale che producesse la stessa quantità di petrolio in Texas.

Estrarre e trasformare le sabbie bituminose richiede anche enormi quantità d'acqua. Questo significa meno acqua a disposizione per altri scopi, come usi domestici, agricoli e industriali. Inoltre, l'acqua deve essere riscaldata. Un recente studio prevede che, entro il 2010, quasi il 25% del gas naturale prodotto in Alberta verrà utilizzato per riscaldare l'acqua necessaria per fondere il bitume. Negli ultimi anni, la scarsità d'acqua è diventata per gli ambientalisti uno dei problemi più scottanti, destinato ad acuirsi se verranno impiegate grandi quantità d'acqua per la trasformazione delle sabbie bituminose.

Un altro elemento di preoccupazione è la gestione dei fanghi derivanti dal processo di estrazione, che contengono idrocarburi, sali inorganici e metalli pesanti. Questo fango, di composizione gelatinosa, non può essere riciclato. Il volume stesso dei fanghi che si accumulano nelle discariche dei giacimenti di sabbie bituminose è inquietante. Suncore e Syncrude, i due maggiori produttori, entro il 2020 avranno discariche superiori al miliardo di metri cubi. Dato che il fango impiega più di un secolo a consolidarsi in una forma che possa essere bonificata in condizioni di sicurezza, le discariche non possono offrire la garanzia di essere esenti da erosioni o perdite. La migrazione degli agenti inquinanti dai fanghi alle falde acquifere o al terreno pone, a lungo termine, seri problemi ambientali.

Se la contaminazione del suolo e delle falde acquifere fosse l'unico rischio ambientale legato allo sfruttamento delle sabbie bituminose e del greggio pesante, il danno, per quanto potenzialmente significativo, sarebbe almeno localizzato. Il problema di maggior portata, legato alla sostituzione del greggio convenzionale e del gas naturale con le sabbie bituminose e il greggio pesante, è l'aumento

delle emissioni di CO₂. Quanto minore è l'efficienza di conversione di un carburante, tanto maggiori sono le emissioni di CO₂. Per esempio, la produzione di idrocarburi sintetici¹⁴ da scisti bituminosi genera il 39% di emissioni di CO₂ in più rispetto al greggio convenzionale. La produzione² di combustibili sintetici dal carbone ne produce il 72% in più. Analogamente, la conversione delle sabbie bituminose e del greggio pesante in combustibili sintetici genera emissioni significativamente più elevate.

Le potenziali conseguenze di questo semplice fatto legato alla termodinamica non sono da sottovalutare, soprattutto se si considera quanto, negli anni a venire, il mondo diventerà dipendente dal greggio pesante e dalle sabbie bituminose. Uno studio realizzato da Chevron, risalente⁵ a una decina di anni fa, prevedeva che entro la metà del ventunesimo secolo, greggio pesante e bitumi avrebbero coperto la metà del fabbisogno energetico mondiale. Se greggio pesante, sabbie bituminose e carbone saranno sempre più utilizzati per produrre combustibili sintetici liquidi con cui sopperire alla carenza di greggio convenzionale a buon mercato, l'impatto a lungo termine sul clima mondiale potrebbe essere persino maggiore delle più pessimistiche previsioni attuali.

Il bilancio entropico dell'era industriale

Il surriscaldamento globale è la faccia nascosta del bilancio economico dell'era industriale. Negli ultimi secoli, e soprattutto nel Novecento, l'uomo ha bruciato quantità incommensurabili di energia solare «immagazzinata» in forma di carbone, petrolio e gas naturale, per produrre l'energia che ha reso possibile lo stile di vita industriale. Questa energia consumata si è accumulata nell'atmosfera terrestre e ha iniziato a influenzare negativamente il clima del pianeta e l'equilibrio di molti ecosistemi. Come altre civiltà che l'hanno preceduta, anche quella industriale si sta avvicinando alla fine del proprio regime energetico,

dal momento che il costo di smaltimento delle scorie accumulate di tutta l'energia già spesa sta diventando un fattore economico altrettanto significativo del valore netto dell'energia che viene ancora prodotta e consumata.

Se si dovessero misurare i progressi dell'uomo in base all'impatto delle sue attività sulla vita del pianeta che abita, dovremmo tristemente concludere che il surriscaldamento globale è, a tutt'oggi, il maggior risultato ottenuto, ancorché negativo. Abbiamo cominciato a influire sulla biochimica della terra e, in meno di un secolo, siamo riusciti a comprometterla. Fra qualche decina di migliaia di anni, quando le future generazioni guarderanno a questo periodo, scopriranno che l'unica eredità storica che abbiamo lasciato loro è il più catastrofico cambiamento del clima terrestre verificatosi nelle ere geologiche.

Il surriscaldamento della terra è il risultato della crescente accumulazione nell'atmosfera di gas che impediscono la dispersione del calore: è così che si manifesta l'effetto serra.

La radiazione solare penetra l'atmosfera terrestre. Quando colpisce la superficie del pianeta, si trasforma in energia infrarossa e calore. Il calore aumenta e bombarda l'anidride carbonica e altri gas presenti nell'atmosfera, imprimendo una vibrazione alle molecole gassose. Tali molecole agiscono come riflettori, ovvero restituiscono parte del calore alla superficie della terra, creando in tal modo un effetto di riscaldamento. Anidride carbonica, metano e altri gas serra formano uno strato dell'atmosfera che intrappola parte del calore del sole, permettendo che si creino le condizioni per il fiorire della vita sulla terra. Per i diecimila anni che hanno preceduto l'era industriale, l'equilibrio dei gas serra è stato relativamente stabile e la temperatura terrestre ha oscillato entro un *range* estremamente ristretto. Fra Ottocento e Novecento, la combustione di massicce quantità di carbone prima, e di petrolio e gas naturale poi, ha modificato questo equilibrio.

Oggi, il contenuto di CO₂ dell'atmosfera è di circa il 31% superiore a quello del 1750, agli albori dell'era dei COmbu-

stibili fossili. Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) delle Nazioni Unite, una simile concentrazione non è stata mai raggiunta negli ultimi 420.000 anni - e, probabilmente, neppure nei precedenti 20 milioni di anni - e il tasso di aumento della concentrazione di CO₂ non ha precedenti negli ultimi ventimila anni. Quasi il 75% dell'incremento della concentrazione di CO₂ verificatosi negli ultimi vent'anni è da addebitare all'utilizzo di combustibili fossili, mentre il restante 25% è il risultato della deforestazione e dei cambiamenti d'uso del territorio, con il conseguente rilascio di CO₂ nell'atmosfera. Una metà di questo incremento delle emissioni di CO₂ viene assorbita dalla terra e dai mari, ma l'altra metà migra nell'atmosfera.

Anche il metano, un altro gas serra, ha contribuito al fenomeno, intrappolando più calore intorno alla superficie della terra. Ora, più della metà delle emissioni di metano sono indotte dall'attività umana: tra le fonti più rilevanti, le risaie, le discariche e le flatulenze degli animali d'allevamento. Dal 1750, la concentrazione di metano nell'atmosfera è aumentata del 151%. Come per il CO₂, la quantità di metano presente nell'atmosfera non ha precedenti in tutta la storia geologica degli ultimi 420.000 anni.

La concentrazione nell'atmosfera di monossido d'azoto, terzo maggiore gas serra, è aumentata, dal 1750, del 17%. Quasi un terzo di tale incremento è dovuto ad attività umane, come l'allevamento intensivo, l'industria chimica e il ricorso massiccio in agricoltura a fertilizzanti azotati.

49

L'aumento dell'anidride carbonica è responsabile per il 70% del surriscaldamento terrestre, il metano per il 24 e l'ossido d'azoto per il rimanente 6.

Le prime preoccupazioni per il surriscaldamento del pianeta sono state manifestate da un saggio scientifico pubblicato nel 1957 da Roger Revelle e Hans Suess, dello Scripps Institute of Oceanography, in California. I due scienziati si sono resi conto che le attività agricole e indù-

striali stavano provocando un pericoloso aumento di CO₂ nell'atmosfera, con imprevedibili conseguenze sulla temperatura terrestre.

Un nuovo interesse per l'argomento si registrò negli anni Settanta e Ottanta, in parte in relazione alla crisi petrolifera, in parte a causa delle crescenti preoccupazioni per la salute dell'ambiente. Studiosi di varie discipline scientifiche si dedicarono ad analisi e previsioni, discutendo fatti, cifre e interpretazioni. Alla fine degli anni Ottanta, nel tentativo di coordinare questo fiorire di ricerche sul cambiamento climatico, le Nazioni Unite istituirono un gruppo di lavoro composto da centinaia dei maggiori esponenti di una dozzina di diverse discipline scientifiche, incaricandolo di analizzare la questione con il massimo rigore. Nel gennaio del 2001, dopo oltre dieci anni di lavori e svariate relazioni provvisorie, l'IPCC pubblicò un voluminoso rapporto, le cui conclusioni sono poco rassicuranti.

Gli scienziati dell'IPCC affermano che nel corso del Novecento la temperatura⁵ media globale è aumentata di $1,08 \pm 0,36$ gradi Fahrenheit.* Inoltre, probabilmente, tale aumento è stato il più rilevante, a parità di lasso temporale, degli ultimi mille anni. E, secondo i modelli da loro elaborati, è possibile che la temperatura media globale del pianeta aumenti fra i 2,52 e i 10,44 °F fra oggi e il 2100.

Per inquadrare il fenomeno nella giusta⁵ prospettiva, gli scienziati affermano che gli aumenti di temperatura previsti sono «senza precedenti nella storia degli ultimi diecimila anni, sulla base dei dati paleoclimatici». In altre parole, se le previsioni si avverassero, il cambiamento di temperatura nei prossimi cento anni sarebbe probabilmente superiore a qualunque cambiamento climatico verificatosi sulla terra negli ultimi diecimila anni. L'effetto sulla biosfera terrestre sarà di natura qualitativa: occorre ricordare che l'aumento medio di 9 °F della temperatura, avvenuto dall'ulti-

* Si rammenti che nella scala Celsius, quella correntemente utilizzata in Italia, un grado corrisponde a 2,12 gradi della scala Fahrenheit. (NdT)

ma glaciazione a oggi, ha provocato nell'emisfero boreale lo scioglimento di una calotta di ghiaccio spessa decine di metri che copriva buona parte delle terre che conosciamo.

Le prove del fatto che l'aumento della temperatura sta condizionando negativamente l'ecosistema terrestre sono ovunque. A volte bastano piccoli cambiamenti per scatenare grandi preoccupazioni. Recentemente alcuni ricercatori hanno scoperto che una farfalla tipica del Nordamerica, la *Edith's Checherspot*, è migrata a più di 90 chilometri a nord del suo habitat tradizionale. Nel biennio 1997-98 la popolazione di salmoni del Pacifico è diminuita bruscamente, a causa di un aumento superiore ai 6 °F della temperatura delle acque di quell'oceano. Il Kilimangiaro, la montagna più alta del continente africano, nell'ultimo secolo ha perso il 75% del suo ghiacciaio sommitale e, con ogni probabilità, sarà completamente libero dai ghiacci entro i prossimi quindici anni. Gli orsi polari della baia di Hudson sono meno prolifici: secondo alcuni scienziati, questo fenomeno potrebbe essere provocato dallo scioglimento anticipato dei ghiacci a primavera. La dengue e altre malattie tropicali si stanno diffondendo per la prima volta nelle regioni meridionali degli Stati Uniti.

Gli scienziati prevedono che un aumento della temperatura fra i 2,52 e i 10,44 °F, nel corso di questo secolo, potrebbe avere effetti devastanti e permanenti sull'ecosistema terrestre, incluso lo scioglimento dei ghiacciai e delle calotte polari, l'aumento del livello degli oceani e delle precipitazioni, i sempre più frequenti eventi meteorologici catastrofici, la destabilizzazione e la perdita di habitat naturali, la migrazione a settentrione degli ecosistemi, l'infiltrazione di acque salmastre nelle falde acquifere, la massiccia moria di vegetazione nelle foreste, l'accelerazione dell'estinzione delle specie e l'aumento di alluvioni.

Il rapporto dell'IPCC mette anche in guardia contro gli effetti negativi sugli insediamenti umani, come la scomparsa di isole e la riduzione del territorio di molti Stati costieri, la diminuzione della resa dei terreni agricoli, soprattutto nel-

l'emisfero australe, e la diffusione di malattie tropicali in aree più settentrionali, precedentemente temperate.

I cambiamenti in atto sono stupefacenti per natura e dimensione. Si consideri il ghiacciaio Mendenhall, nell'Alaska meridionale. Questo monumento naturale, che si trova nei pressi di Juneau, attrae circa 300.000 turisti l'anno ed è uno dei ghiacciai più visitati del mondo. Secondo i climatologi, il ghiacciaio si sta ritirando. Nell'estate del 2000 è retrocesso di almeno 100 metri, portando alla luce terre che per secoli erano state coperte dai ghiacci. Negli ultimi settant'anni il fronte del ghiacciaio è arretrato di un chilometro. Keith Echelmeyer, un geologo che si è dedicato allo studio dei cambiamenti in ambiente glaciale, afferma che, all'attuale ritmo di contrazione, il ghiacciaio Mendenhall potrebbe scomparire completamente prima della fine del secolo. Altri ghiacciai della regione si stanno ritirando nella stessa misura e, secondo Echelmeyer, non vedranno la seconda metà del secolo.

Dati rilevati dai satelliti indicano, rispetto agli anni Sessanta, una diminuzione del 10% della copertura nevosa alle medie e alte latitudini. Altri dati di controllo rivelano, nelle medesime regioni, una riduzione di due settimane del periodo di glaciazione di laghi e fiumi. Negli ultimi decenni, alla fine dell'estate e all'inizio dell'autunno lo spessore della calotta glaciale artica è diminuito del 40%. Si stima che la velocità di tale diminuzione sia destinata ad accelerare nel corso di questo secolo.

L'IPCC riferisce anche di un'inquietante crescita del livello del mare in tutto il mondo. I dati più recenti dimostrano un innalzamento del livello delle acque fra 10 e 20 centimetri nel corso del Novecento. Ancor più allarmante è il fatto che i modelli computerizzati previsionali suggeriscono un ulteriore aumento compreso fra 9 e 88 centimetri nel corso di questo secolo.⁶³ Questo innalzamento è dovuto in parte allo scioglimento delle calotte polari e dei ghiacciai ma soprattutto, secondo gli scienziati, all'espansione termica determinata dall'aumento della temperatura media delle ac-

que. Nei prossimi cinquecento anni il livello del mare potrebbe alzarsi di 7-13 metri. E poiché un incremento della temperatura sulla superficie terrestre impiega migliaia di anni a raggiungere il fondo⁶⁵ degli oceani, l'innalzamento delle temperature che abbiamo registrato e che registreremo nel prossimo secolo continuerà a far crescere il livello del mare nei prossimi secoli.

Gli scienziati sono particolarmente preoccupati per la calotta di ghiaccio della Groenlandia, che sta iniziando a sciogliersi. Se la temperatura locale superasse i 36,86 °F, la calotta glaciale scomparirebbe, causando un innalzamento di 7 metri del livello del mare. Se, a causa dei cambiamenti climatici già in atto, il livello del mare aumentasse di più di 10 metri nei prossimi mille anni, si perderebbe una quantità di massa terrestre corrispondente a quella degli Stati Uniti. La Florida e molte città della costa orientale del Nordamerica finirebbero sott'acqua. Più di un miliardo di persone sarebbero costrette a emigrare e buona parte della migliore terra coltivabile del pianeta sarebbe sommersa.

Le più colpite sarebbero le nazioni insulari, come le Maldive, nell'Oceano Indiano, e le Isole Marshall, nel Pacifico. Basterebbe un aumento del livello del mare di soli 50 centimetri per modificare radicalmente il loro profilo costiero e contaminare totalmente le falde acquifere. Un aumento di 3 metri le sommergerebbe completamente.

Metà dell'umanità abita in aree costiere: sono queste le popolazioni più esposte a tale rischio. In paesi come il Bangladesh, che stanno già sperimentando un aumento dell'intensità delle inondazioni annuali, 1 metro d'acqua⁶⁶ in più significherebbe una perdita del 7% del territorio, che interesserebbe 6 milioni di persone. Chi vive sul delta del Nilo, in Egitto, si confronterebbe con problemi analoghi.

L'innalzamento della temperatura terrestre condiziona anche la frequenza e l'intensità delle precipitazioni. L'IPCC nota che, nel corso del Novecento, alle latitudini medie e alte dell'emisfero boreale le precipitazioni sono aumentate

fra lo 0,5 e l'1% in media ogni decennio. Nelle stesse regioni, le piogge di forte intensità sono aumentate dal 2 al 4% e alcuni scienziati prevedono, sulla base dei modelli più recenti, che le precipitazioni violente si intensificheranno alle medie latitudini. L'IPCC stima che l'aumento di forti tempeste nelle regioni costiere potrebbe accrescere il numero di persone che vivono in aree a rischio di inondazione.

Immaginate che il Canada centrale abbia il clima dell'Illinois, o che a New York vi sia lo stesso clima che a Miami Beach, in Florida. Gli uomini sono in grado di migrare verso nord, ma le piante e gli animali non possono farlo altrettanto rapidamente, tenendo il passo con lo spostamento dell'area climatica in cui riescono a prosperare. Molti ecosistemi, incapaci di adattarsi, scomparirebbero e verrebbero sostituiti da altri.

Sir John Houghton, co-presidente del gruppo di lavoro dell'IPCC e presidente della Royal Commission on Environmental Pollution britannica, sottolinea che in tutto il mondo si sono evoluti microrganismi, piante e animali perfettamente adattati a specifiche nicchie climatiche. «I cambiamenti del clima» afferma Houghton «alterano la sostenibilità di una regione per diverse specie, e cambiano il loro grado di competitività nell'ambito di ciascun ecosistema. Per questo, cambiamenti climatici anche relativamente modesti conducono, nel tempo, a notevoli modifiche nella composizione degli ecosistemi.» Ovviamente, i cambiamenti climatici ai quali Houghton si riferisce si manifestano nel corso di migliaia di anni. L'attuale riscaldamento del pianeta, invece, minaccia di alterare le condizioni climatiche a livello globale nell'arco di meno di un secolo. «La maggior parte degli ecosistemi non riesce a reagire e a emigrare così rapidamente» sostiene ancora Houghton. E, in assenza di una precisa sintonia fra clima ed ecosistemi, questi ultimi sono più esposti a malattie, attacchi da parte di parassiti e altre aggressioni.

Dato che gli alberi vivono a lungo e si riproducono con lentezza, in caso di bruschi cambiamenti di temperatura

le foreste sono particolarmente esposte a distruzione, destabilizzazione e morte; e poiché gli alberi coprono un quarto delle terre emerse⁷⁶ ospitano una miriade di creature viventi, ogni modificazione della temperatura globale rischia di avere conseguenze rilevanti su tutti gli ecosistemi forestali della terra.

Negli ultimi sedici anni, ricercatori attivi in Costa Rica hanno registrato un continuo declino del tasso di crescita degli alberi della foresta pluviale, coincidente con l'aumento, altrettanto costante, della temperatura media. La ricercatrice Deborah A. Clark, dell'University of Missouri, riferisce che «gli alberi tropicali sono sempre più stressati dalle elevate temperature notturne». L'innalzamento delle temperature notturne costringe infatti le piante a respirare di più e, quindi, a rilasciare nell'atmosfera maggiori quantità di anidride carbonica. Queste scoperte preoccupano gli scienziati. I ricercatori che studiano gli effetti dell'aumento delle temperature sulla diminuzione della crescita degli alberi osservano che la foresta tropicale assorbe fino a un terzo dell'anidride carbonica eliminata dall'atmosfera attraverso i processi di fotosintesi. Se gli alberi continuano a rilasciare sempre maggiori quantitativi di CO₂ come sottoprodotto della respirazione, alterando l'usuale rapporto fra assorbimento e rilascio di CO₂, la quantità di anidride carbonica aggiunta all'atmosfera potrebbe accelerare in maniera significativa, oltre le attuali previsioni, il processo di riscaldamento globale. Peter Cox, dell'UIC Meteorological Office di Bracknell, afferma che nei prossimi decenni assisteremo alla scomparsa di una porzione significativa di foresta amazzonica a causa dell'aumento dello stress termico, con conseguente rilascio nell'atmosfera di miliardi di tonnellate di CO₂. Secondo John Mitchell, anch'egli dell'UIC Meteorological Office, il possibile collasso di quel che rimane del più grande limitatore di CO₂ nell'atmosfera potrebbe avere come conseguenza un ulteriore incremento di 3,6 °F della temperatura nel corso del secolo.

Secondo i climatologi, l'aumento di temperatura a livello

globale non significa solo morte e disperazione. Il processo sta già avendo un effetto migliorativo sulla crescita arborea a latitudini più elevate. Dati raccolti da satelliti NASA mostrano una tendenza vegetativa positiva in parte del Canada, nel nord degli Stati Uniti, nell'Europa settentrionale, in Russia e in Asia centrale. Primavera più precoci stanno aumentando il periodo vegetativo anche di dodici giorni nelle regioni settentrionali degli Stati Uniti, e perfino di diciotto giorni in Europa e in Asia: il risultato è un ambiente più verde in una misura compresa fra l'8 e il 12%. Quel che ancora non si sa è se l'aumento della vegetazione alle latitudini settentrionali riuscirà a compensare le perdite nelle zone tropicali, in termini di equilibrio fra assorbimento e rilascio di CO₂.

Gli autori del rapporto IPCC ritengono che il cambiamento climatico avrà effetti significativi anche su «distribuzione, dimensione, densità della popolazione e comportamento della fauna selvatica». Per esempio, il riscaldamento degli oceani comporterà una riduzione dell'habitat dei pesci d'acqua fredda e un ampliamento di quello dei pesci di acque temperate. Un rapporto stilato dalla Marine Biological Station delle università di Glasgow e di Londra prevede che nei prossimi cinquant'anni le grandi barriere coralline - uno dei più delicati e fragili sistemi viventi - potrebbero scomparire, a causa del decoloramento dovuto al riscaldamento delle acque degli oceani. Gli autori del rapporto affermano che, con l'aumento della temperatura marina, le piante microscopiche di cui si nutrono gli animali coralliferi morirebbero, e la destabilizzazione di questo delicato equilibrio determinerebbe la morte del corallo. Rupert Ormand, della Marine Biological Station, sostiene che «fra cinquant'anni, di corallo potrebbe rimanerne poco».

Anche l'aggravarsi della siccità rappresenta un dato rilevante in tutte le più recenti analisi. Uno studio condotto dal Tyndall Centre for Climate Change Research della University of East Anglia di Norwich prevede che nei prossimi decenni alcuni paesi potranno conoscere aumenti di temperatura nell'ordine dei 9 °F. Particolarmente a rischio so-

no alcune nazioni asiatiche, come Kazakhstan, Uzbekistan, Tagikistan, Afghanistan e Iran. Anche alcuni paesi africani, come Etiopia, Sierra Leone e Tanzania, vedranno probabilmente peggiorare le condizioni di siccità che hanno già devastato i loro territori.

L'impatto del riscaldamento globale sarà avvertito con la massima intensità in agricoltura. Bill Esterling, docente di geografia e agronomia alla Pennsylvania State University e uno dei principali autori del rapporto IPCC, afferma che se l'aumento di temperatura alle latitudini settentrionali dovesse rivelarsi contenuto - cioè nell'ordine di pochi gradi Fahrenheit - l'agricoltura potrebbe trarne vantaggio. Ma, a fronte di un riscaldamento superiore ai 3 °F, in aree come gli Stati Uniti si verificherebbe una drammatica svolta, perché «la resa dei raccolti comincerebbe a declinare rapidamente». Ai tropici e nell'emisfero australe, dove le coltivazioni sono già al limite della tolleranza del calore, gli effetti del riscaldamento globale si avverteranno presto, e saranno più evidenti e di lunga durata. I paesi in via di sviluppo dell'emisfero meridionale, già gravati da una popolazione in crescita, probabilmente troveranno sempre maggiori difficoltà a produrre generi alimentari per il proprio fabbisogno o da scambiare sui mercati internazionali.

Ma, forse, il più grande punto interrogativo riguarda il modo in cui il riscaldamento globale influenzerà la migrazione di alcune malattie in aree del pianeta che in passato erano immuni. Secondo gli autori del rapporto IPCC, sulla base dei risultati dei modelli previsionali «c'è una probabilità media o alta» di un «netto ampliamento dell'area geografica di potenziale trasmissione della malaria e della dengue». La malaria si diffonde con maggiore facilità in climi caldo-umidi e viene trasmessa dalle zanzare; ogni anno, più di 350 milioni di persone, soprattutto nell'emisfero australe, vengono infettate e per 2 milioni di loro le conseguenze sono letali. Altre malattie, incluse le encefaliti virali, con lo spostamento a nord del loro areale climatico hanno buona probabilità di diffondersi.

Lo scenario più pessimista

Occorre notare che le attuali previsioni sul riscaldamento globale e sui suoi effetti economici, ecologici e sociali si fondano sull'ipotesi di un aumento costante delle temperature, con una distribuzione più o meno uniforme nel corso di questo secolo. Ma quest'ipotesi potrebbe rivelarsi errata. Nel 2002 l'US National Academy of Sciences ha pubblicato un rapporto davvero terrorizzante, in cui si ventila la possibilità che nel volgere di pochi anni le temperature terrestri possano aumentare drasticamente e improvvisamente, creando un nuovo regime climatico in tempi rapidissimi.

Gli autori del rapporto sottolineano che, negli ultimi centomila anni, si sono verificati ripetuti e improvvisi cambiamenti climatici, con effetti a lungo termine. Per esempio, alla fine del periodo di glaciazione detto Younger Dryas, circa 11.500 anni fa, «il clima globale cambiò radicalmente, in molte regioni anche oltre un terzo della differenza fra l'era glaciale e le condizioni attuali; e gran parte del cambiamento si verificò nell'arco di pochi anni».

Secondo tale studio, «un brusco cambiamento si verifica quando il sistema climatico è spinto a superare certe soglie, innescando una transizione verso un nuovo stato a un ritmo determinato dal sistema climatico stesso e più rapido di quello della causa». Inoltre, le rilevazioni paleoclimatiche mostrano come «le più drastiche modificazioni climatiche si siano verificate quando sono cambiati gli stessi fattori che controllano il sistema climatico». Considerato il fatto che l'attività dell'uomo, soprattutto l'impiego di combustibili fossili, lascia prevedere che in questo secolo il contenuto di CO₂ emesso nell'atmosfera raddoppierà, le condizioni potrebbero essere mature per un brusco cambiamento climatico in tutto il mondo, forse nell'arco di pochi anni. Gli autori del rapporto NAS scrivono:

Le attuali tendenze, e le previsioni per il prossimo secolo, indicano che le medie e le variabilità climatiche raggiungeranno probabilmente livelli mai registrati con rilevamenti strumentali e nella storia

geologica recente. Queste tendenze sono potenzialmente in grado di spingere il sistema climatico oltre la soglia di un nuovo stato.

A lasciare sconcertati, nelle dichiarazioni del comitato NAS, è il fatto che potrebbe bastare una modesta deviazione di condizioni marginali, o una piccola fluttuazione casuale in un qualunque punto del sistema per «innescare grandi cambiamenti... se il sistema è prossimo a una soglia».

Un brusco cambiamento climatico, come quello che si verificò al termine del periodo Younger Dryas, potrebbe rivelarsi catastrofico per ecosistemi e specie di tutto il mondo. In quel periodo, per esempio, in meno di cinquant'anni nel New England si estinsero la betulla bianca, l'abete bianco e l'abete rosso. In quegli anni, in Nordamerica, il processo di estinzione delle specie - che riguardò cavalli, mastodonti, mammoth e tigri dai denti a sciabola - fu più radicale che in qualsiasi altra epoca storica.

Il comitato ha dipinto un possibile scenario da incubo in cui eventi casuali provocano il superamento di una soglia climatica, innescando un nuovo regime e causando ovunque distruzioni e catastrofi. Tutt'a un tratto, gli ecosistemi potrebbero collassare: le foreste decimate da roghi colossali, le praterie disseccate e ridotte a deserti polverosi. La fauna selvatica scomparirebbe e malattie trasmesse dall'acqua (come il colera) o da vettori (come la malaria, la dengue e la febbre gialla) si potrebbero diffondere in modo incontrollabile oltre i loro areali tradizionali, minacciando la salute dell'umanità in ogni angolo della terra.

La NAS conclude il suo rapporto con un avvertimento:

Sulla base di inferenze da dati paleoclimatici, è possibile che i cambiamenti previsti non si verifichino attraverso un'evoluzione graduale, proporzionale alla concentrazione dei gas serra, ma con un brusco e permanente cambio di regime riguardante subcontinenti e regioni ... negare la possibilità, o sottovalutare la rilevanza, di bruschi cambiamenti avvenuti nel passato potrebbe costare caro.

In anni recenti è diventato sempre più evidente che l'era dei combustibili fossili è un Giano bifronte. Gli straordinari

benefici apportati dall'utilizzo di carbone, petrolio e gas naturale sono troppo numerosi per essere elencati; basti dire che da otto a dieci generazioni di esseri umani - quelle che hanno vissuto fra il primo diffuso impiego del carbone e della tecnologia del vapore e oggi - in Europa, Nordamerica, Giappone e in altre aree hanno ottenuto enormi vantaggi dallo sfruttamento di queste risorse uniche e non rinnovabili. Abbiamo sfruttato i residui organici di ere geologiche precedenti e goduto dell'abbondanza materiale resa possibile dall'energia sprigionata. Ora, diverse forze stanno convergendo verso la creazione di un evento di portata storica: abbiamo raggiunto il momento critico che anche grandi civiltà del passato dovettero affrontare: alcune con successo, altre no. Il momento, cioè, in cui l'energia necessaria per mantenere il funzionamento della civiltà diventa più scarsa e costosa, così come sempre meno economico diventa smaltire il cumulo di scorie e prodotti di scarto creati dalle attività passate. Quando questo momento viene superato, le nazioni subiscono un rallentamento del flusso d'energia, un peggioramento della performance di molti sottosistemi che costituiscono la società e un indebolimento del tessuto istituzionale, economico e sociale. Tutto ciò rende la struttura operativa della società più esposta a minacce esterne e crolli interni.

Dalle scelte che la civiltà compirà in questo punto di svolta del proprio regime energetico dipenderà se riuscirà a riorganizzare il proprio sistema e a rinnovarsi, o se dovrà fare i conti con il deterioramento progressivo delle proprie infrastrutture e con la conseguente morte e decomposizione della società. La civiltà fondata sul petrolio, il regime energetico di maggior successo nella storia dell'uomo, è a pochi anni da tale punto di svolta. Tre forze determinanti stanno convergendo rapidamente, costringendo la società a prendere una decisione sulla strada da imboccare per garantirsi un futuro. L'interazione fra l'imminente picco della produzione petrolifera globale, la conseguente concentrazione delle rimanenti riserve di petrolio in Medio Oriente

(la regione più politicamente e socialmente instabile d mondo) e il progressivo riscaldamento dell'atmosfera terrestre provocato dal decadimento dell'energia, o entropia, spesa nel corso dell'era industriale sta creando una situazione critica e pericolosa per il mondo, le cui conseguenze, in questo momento, sono ancora incerte.

La civiltà degli idrocarburi è sotto pressione. Il modo in cui reagiremo a questa triplice minaccia che preme alle porte dipende, almeno in parte, da quanto la nostra attuale infrastruttura è vulnerabile ad attacchi, distruzioni e abbandono. Ora, sotto quest'aspetto, le prospettive sono pessime: l'infrastruttura complessa e centralizzata che abbiamo creato per gestire un'economia fondata sull'energia dei combustibili fossili, che in passato è stata il nostro maggior patrimonio, si sta rivelando anche il nostro principale problema. Siamo sempre più esposti a minacce e distruzioni, dall'interno e dall'esterno, il che rende la fase postindustriale che stiamo vivendo un momento storico caratterizzato dalla massima precarietà.

VII

I punti deboli lungo le giunture

L'11 settembre 2001, diciannove terroristi arabi, armati unicamente di taglierini, hanno dirottato quattro aerei di linea statunitensi: due sono stati lanciati contro le Torri gemelle del World Trade Center di New York - al terzo e al quarto posto nella classifica degli edifici più alti del mondo -, provocandone il crollo; il terzo è stato scagliato sul Pentagono, a Washington; il quarto è precipitato in Pennsylvania, durante lo scontro fra i dirottatori e alcuni passeggeri che volevano riprendere il controllo dell'aereo.

Si è trattato del più grave attacco terroristico sul suolo degli Stati Uniti in tutti i duecentoventicinque anni della loro storia. Oltre 3000 persone, sugli aerei e nei palazzi, sono morte. In seguito, si è scoperto che quindici dei diciannove terroristi erano sauditi, membri di una setta islamica paramilitare chiamata «al Qaeda», guidata da Osama bin Laden, il terrorista saudita responsabile sia di precedenti attacchi alle ambasciate statunitensi in Africa e all'*US Warship Cole* in Yemen sia dell'attentato del 1993 al World Trade Center.

Negli anni Ottanta bin Laden ha lottato al fianco di altri «combattenti per la libertà» musulmani in Afghanistan, nella guerra santa per liberare il paese musulmano dalle truppe sovietiche. L'ira di bin Laden si è diretta contro gli Stati Uniti per la prima volta all'inizio degli anni Novanta, durante la guerra del Golfo. Nell'agosto del 1990 l'Iraq invase il Kuwait, per appropriarsi dei suoi ricchi giacimenti petroliferi. Gli Stati Uniti si posero alla testa di una coalizione mondiale per respingere l'attacco. Nel gennaio del 1991

un contingente di 500.000 militari americani, affiancato da 160.000 soldati di altre nazioni alleate - i paesi che diedero appoggio militare alla coalizione furono trentaquattro -, lanciò un massiccio attacco aeroterrestre e cacciò le forze armate irachene dal Kuwait. Nel conflitto perirono 100.000 soldati iracheni e 148 americani.

Fondamentale per lo svolgimento della guerra fu un accordo fra il governo statunitense e la famiglia reale saudita, che permise agli aerei militari americani di utilizzare gli aeroporti e lo spazio aereo dell'Arabia Saudita. La presenza militare americana continuò anche dopo la guerra. Come detto, bin Laden e gli oltranzisti islamici si scagliarono con furia contro il governo di Riyadh, che aveva permesso agli «infedeli» di profanare il sacro suolo dell'Islam con la loro presenza. Bin Laden giunse a dichiarare una *jihad* per cacciare gli americani dal suo paese: i successivi attacchi terroristici contro installazioni civili e militari statunitensi furono funzionali al raggiungimento di tale obiettivo.

L'11 settembre 2001, per la seconda volta, bin Laden ha portato la *jihad* in territorio statunitense con una missione suicida contro civili e militari. Purtroppo, questo attacco ha avuto un successo superiore perfino alle sue più rosee previsioni. Sotto shock, la nazione ha reagito. Il presidente George W. Bush ha invitato la comunità internazionale ad allearsi nella lotta contro il terrorismo; il governo statunitense ha lanciato un *attacco* aereo contro il regime radicale islamico dei talebani, che controllava l'Afghanistan e dava rifugio a bin Laden e alla sua banda di terroristi. All'attacco aereo ne è seguito uno terrestre, condotto dai combattenti per la libertà dell'Afghanistan - la cosiddetta Alleanza del Nord - che già da molti anni avevano impugnato le armi per liberare il proprio paese dal regime integralista talebano. Nel dicembre del 2001 il regime afgano è caduto e migliaia di soldati talebani e di militanti di al Qaeda sono stati catturati, anche se molti componenti dell'organizzazione terroristica sono riusciti a riparare in Pakistan. Nel frattempo, le cellule di al Qaeda, che si ritie-

ne essere attiva in cinquanta paesi, sono state messe sotto stretta osservazione. L'attività investigativa ha portato all'arresto di terroristi e al sequestro di beni di organizzazioni sospettate di riciclare fondi destinati ai terroristi, congelati dagli Stati Uniti e da altri governi. Nonostante i duri colpi subiti, la rete terroristica continua a operare, spalleggiata da altri gruppi estremisti islamici come Hamas, Jihad islamica e Hezbollah.

Gli attacchi dell'11 settembre sono gli anelli di una catena di eventi cominciata dieci anni fa, con la guerra del Golfo, e le cui radici affondano in un passato ancor più remoto, quando i governi coloniali occidentali e le compagnie petrolifere, in accordo con le élite del mondo arabo, stabilirono la propria presenza in Medio Oriente, allo scopo di assicurarsi forniture di petrolio a buon mercato per il proprio apparato industriale.

Fin dalla seconda guerra mondiale, l'accesso alle riserve petrolifere mediorientali è stato uno dei tratti salienti della politica estera statunitense. Gran Bretagna, Francia, Germania, Olanda e altre potenze europee erano impegnate nella regione già da tempo. Per gran parte della guerra fredda, gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica hanno lottato per assicurarsi una salda presa sul Golfo Persico e sui suoi giacimenti.

Il solo costo militare della protezione degli interessi americani in Medio Oriente è stato enorme. Per più di mezzo secolo l'apparato militare americano ha dovuto mantenere nel Golfo Persico e nelle aree circostanti flotte, basi aeree e altre installazioni belliche, con relativo personale, per garantire la sicurezza del transito del petrolio destinato agli Stati Uniti e alle altre nazioni consumatrici. In una certa misura, la guerra del Golfo ha segnato un punto di svolta: per la prima volta, infatti, per proteggere i propri interessi vitali in quella regione del mondo gli Stati Uniti hanno speso più denaro di quanto ne abbiano ricevuto in termini di valore del petrolio importato. Come l'impero romano nelle sue ultime fasi, il costo militare per

il mantenimento del flusso d'energia diventa più elevato del valore netto dell'energia approvvigionata. Il ritorno marginale è negativo. Le cifre sono stupefacenti.

Si stima che il governo degli Stati Uniti abbia speso fra 61 e 71 miliardi di dollari di fondi supplementari per il dispiegamento delle forze e le loro attività nella guerra del Golfo; e si tratta di fondi che si aggiungono a quelli già spesi per le dotazioni e le attrezzature militari esistenti, utilizzate nel conflitto. I contributi degli alleati hanno coperto 54 miliardi di dollari. Da quel momento, gli Stati Uniti hanno mantenuto una presenza militare costante nella regione, con un contingente terrestre di 9000 uomini, prevalentemente in Arabia Saudita, e uno navale di 15.000. La regione è sorvegliata da centinaia di aerei e decine di navi americane. Ogni anno, 50.000 uomini partecipano a manovre militari congiunte. Si valuta che attualmente il governo degli Stati Uniti spenda fra 30 e 60 miliardi di dollari l'anno per difendere i propri interessi petroliferi in Medio Oriente. Secondo altre stime, la cifra oscillerebbe fra i 20 e i 30 miliardi di dollari.

Il costo economico degli attacchi dell'11 settembre si somma a quello sostenuto per mantenere la presenza militare americana in Medio Oriente, e se si aggiungono le spese per la guerra in Afghanistan, le cifre diventano ancor più iperboliche. Secondo gli economisti, il prezzo pagato dagli Stati Uniti per i danni materiali subiti e per lo sgombero delle macerie in conseguenza degli attacchi dell'11 settembre ammonterebbe a 30 miliardi di dollari. E questo è solo l'inizio. Il comune di New York stima che, nei dodici mesi successivi all'attacco, il fatturato delle attività commerciali cittadine subirà una flessione valutabile fra i 4 e i 5 miliardi di dollari, mentre l'industria turistica, dalla data dell'attacco alla fine del 2003, dovrebbe perdere fra i 7 e i 14 miliardi di dollari. Le autorità locali temono anche per le prospettive a lungo termine della città: New York era già, in termini relativi, l'area urbana più cara del mondo, e si teme che gli ulteriori costi e inconvenienti le-

gati alla necessità di una più stretta sorveglianza di polizia - soprattutto nel distretto finanziario, ancora da considerarsi un bersaglio estremamente appetibile per terroristi determinati a minare il potere economico americano nel mondo e in Medio Oriente - possano dissuadere molte aziende dallo scegliere la città come sede delle proprie attività e convincere alcune di quelle esistenti a traslocare altrove. Molte società finanziarie con sede nel World Trade Center e negli immediati dintorni, che hanno subito pesanti perdite di personale e di fatturato a causa e in conseguenza degli attentati dell'11 settembre, si stanno chiedendo se valga la pena rimanere in una zona che ormai viene ritenuta ad alto rischio.

Gli attacchi terroristici hanno avuto anche un profondo effetto sulla vita dei newyorkesi. Allo stress psicologico derivante dalla consapevolezza di vivere in una piccola isola densamente popolata che offre pochi ponti e gallerie come vie di fuga, si associa una situazione economica deteriorata che, secondo alcuni, potrebbe non risollevarsi per anni. Nei due mesi successivi all'attacco, circa centodiecimila abitanti di New York hanno perso il lavoro presso linee aeree, agenzie di viaggio, alberghi, ristoranti, autonoleggi. E queste perdite vanno a sommarsi a quelle causate dalla recessione in atto in quel momento.

Ma la ricaduta economica è stata avvertita ben al di là dei confini di New York e ha condizionato l'economia a livello globale. Macroeconomic Advisers, una società di previsioni economiche, stima che gli attacchi abbiano prodotto più di 13 miliardi di dollari di perdite in conto capitale da parte di governi e privati. Boeing, per esempio, ha licenziato oltre 30.000 lavoratori, in previsione di un drastico calo di ordini di grandi jet commerciali. La stessa fonte calcola che, nel terzo trimestre del 2001, il rallentamento dell'attività economica conseguente agli attacchi sia valutabile in 24 miliardi di dollari.

Il Milken Institute, un gruppo di ricerca economica di Santa Monica, in California, riferisce che entro la fine del

2002 saranno 1,8 milioni i posti di lavoro persi a causa degli attacchi terroristici dell'11 settembre; oltre a New York, le altre città che hanno maggiori probabilità di registrare forti perdite sono, secondo l'istituto californiano, Los Angeles, Chicago e Las Vegas.

Le conseguenze secondarie dell'11 settembre sono state avvertite con la massima intensità nel settore dei viaggi e del turismo, uno dei più grandi del mondo. Nel 2000, viaggi e turismo hanno prodotto ricavi per 4500 miliardi di dollari, contribuendo per l'11% al PIL mondiale e all'8,2% del totale dell'occupazione mondiale, con 207.062.000 posti di lavoro.

Il World Travel and Tourism Council stima, per i dodici mesi successivi agli attacchi, un calo compreso fra il 10 e il 20% del flusso turistico negli Stati Uniti, e un declino meno marcato in altri paesi. Negli Stati Uniti, una diminuzione del 10%, significherebbe minori ricavi per 48 miliardi di dollari; se fosse del 20, le perdite salirebbero a 96 miliardi. La stessa fonte stima che la probabile flessione a livello mondiale nella misura del 10% rappresenterebbe una diminuzione del PIL mondiale dell'1,7% e la perdita di 8,8 milioni di posti di lavoro.

L'attacco ha avuto anche una ricaduta sulle tasche dei contribuenti americani. La guerra in Afghanistan costa circa 4 miliardi di dollari al mese, e si ritiene che il governo degli Stati Uniti, soltanto per il prossimo anno, destinerà 28 miliardi di fondi pubblici all'iniziativa militare nella regione. Inoltre, gli Stati Uniti hanno stanziato 300 milioni di dollari per gli aiuti al nuovo governo afgano, come contributo alla ricostruzione del paese dilaniato dalla guerra. Oltre alle maggiori spese militari legate alla guerra contro il terrorismo al di fuori dei confini nazionali, in Afghanistan e in altre regioni, il contribuente americano ha anche finanziato gli indennizzi concessi alle famiglie delle vittime: in media, 1,65 milioni di dollari, per un totale di 6 miliardi. Inoltre, il governo federale ha destinato un totale di 11,2 miliardi di dollari di fondi per contribuire alla ricostruzione

della città di New York, oltre a 15 miliardi di dollari di provvidenze a supporto del settore del trasporto aereo.

Infine, è stata costituita una nuova agenzia federale, la Homeland Security, la cui missione è quella di «sviluppare e coordinare la messa in atto di una strategia nazionale integrale per proteggere gli Stati Uniti da minacce e attacchi terroristici», con l'assegnazione di un budget di 19 miliardi di dollari per il 2002, che si prevede destinato a salire a 37 miliardi nel 2003. A supporto della campagna militare contro bin Laden¹⁸ e la rete terroristica al Qaeda sono stati disposti stanziamenti d'emergenza - superiori a quelli già iscritti a bilancio per l'anno 2002 - nella misura di 3,5 miliardi di dollari. La National Governors Association stima¹⁹ che altri 4 miliardi di dollari di fondi pubblici saranno necessari, a livello di amministrazioni locali, per finanziare i maggiori costi legati al mantenimento della sicurezza.

Non bisogna dimenticare che questi ingenti costi umani ed economici, sostenuti dalla nazione statunitense, dall'economia globale e dai contribuenti americani, sono il risultato di una missione suicida di 19 integralisti islamici armati di taglierini e motivati da un profondo odio per il ruolo che gli Stati Uniti hanno assunto nel mondo, e soprattutto per la loro presenza militare in Arabia Saudita e in Medio Oriente. La lezione che se ne può trarre è che in una comunità sociale densamente popolata, altamente complessa e urbanizzata - come la città di New York - un pugno di terroristi determinati ha mille possibilità di seminare panico, morte e distruzione.

Bioterrorismo

Due settimane dopo gli attacchi alle Torri gemelle del World Trade Center e al Pentagono, la vulnerabilità di una popolazione assembrata in spazi sociali ad alta concentrazione demografica è stata messa in evidenza dalla comparsa di una varietà letale di antrace in missive inviate alle re-

dazioni di diversi mezzi di comunicazione nazionali e, poi, a uffici del Congresso nella capitale degli Stati Uniti. L'antrace - in forma di polvere biancastra - è stato spedito ai destinatari attraverso il sistema postale. Diciotto cittadini americani sono stati esposti alle spore di antrace, e cinque di loro sono morti in seguito all'inalazione della sostanza tossica. Nelle buste contenenti la polvere sono stati rinvenuti messaggi terroristici inneggianti ad Allah e di condanna della politica del governo americano.

Pochi giorni prima, l'FBI aveva riferito che nelle settimane precedenti alcuni dirottatori coinvolti negli attentati dell'11 settembre avevano compiuto visite ad aeroporti della Florida che ospitano aerei specializzati nell'irrorazione delle coltivazioni. Secondo i proprietari, i dirottatori avevano fatto domande sulla capacità di carico dei serbatoi e sul raggio operativo di questi velivoli. Di conseguenza, l'agenzia investigativa federale aveva ordinato a tutti i 3500 aeroplani di proprietà privata attrezzati per tale attività di restare a terra, in attesa di ulteriori indagini. Nel frattempo, alcuni atenei, fra cui quelli del Michigan, Penn State, Clemson e Alabama, proibivano il sorvolo del loro stadio da parte di piccoli velivoli durante le partite di football, nel timore di attentati con armi biologiche. A Washington, i politici si sono dati da fare per placare l'ansia dell'opinione pubblica, stanziando fondi per lo stoccaggio di antibiotici e vaccini, e per il miglioramento delle procedure di pronto soccorso e di emergenza delle istituzioni sanitarie nazionali.

A tutt'oggi, le autorità federali non hanno ancora la certezza che la diffusione dell'antrace attraverso il servizio postale sia opera della rete terroristica denominata al Qaeda. Ciò che, invece, hanno appurato è che l'organizzazione che fa capo a Osama bin Laden ha ricercato attivamente informazioni sugli agenti biologici, sul modo per procurarseli, produrli in grandi quantitativi, migliorarne il potenziale di morte, utilizzando i più avanzati database di biotecnologia, e diffonderli su un vasto territorio.

Gli attentati all'antrace dimostrano quanto gli Stati Uniti e il mondo intero siano impreparati ad affrontare attacchi di tale natura e, soprattutto, quanto le popolazioni concentrate in aree urbane siano esposte a questa forma di guerra. Ma mentre la paura dell'antrace sconvolgeva una nazione già terrorizzata, politici, esperti militari e giornalisti scoprivano una realtà ancora più agghiacciante, che costituisce il nucleo stesso delle nuove paure legate al bioterrorismo: le più recenti informazioni sul genoma, diffuse per pubblicizzare il ruolo dell'ingegneria genetica nel campo agricolo, zootecnico e medico, sono potenzialmente utilizzabili per lo sviluppo di una vasta gamma di nuovi germi patogeni in grado di attaccare vegetali, animali e uomini.

Inoltre, diversamente da quel che accade per gli ordigni nucleari, i materiali e gli strumenti necessari per produrre armi biologiche sono poco costosi e facilmente accessibili, al punto che spesso queste armi vengono cinicamente definite l'«atomica dei poveri». Un laboratorio biologico avanzato può essere costruito e reso operativo con poco più di 10.000 dollari di materiali e attrezzature di facile reperimento, in uno spazio di appena 2 metri quadrati: bastano un contenitore per la fermentazione della birra, una coltura in base proteica, indumenti di plastica e una maschera antigas. E ancor più spaventoso è il fatto che migliaia di biologi molecolari e di ricercatori universitari che lavorano nei laboratori di tutto il mondo abbiano, relativamente all'utilizzo rudimentale del DNA ricombinante e delle tecnologie di clonazione, una competenza sufficiente a progettare e produrre su scala industriale armi di questo tipo.

La guerra biologica comporta il ricorso a organismi viventi per scopi militari. Virus, batteri, funghi, rickettsie e protozoi possono essere trasformati in armi biologiche. Gli agenti biologici possono mutare, riprodursi, moltiplicarsi e diffondersi su vasti territori attraverso il vento, le acque o la trasmissione animale e umana; una volta rila-

sciati nell'ambiente, molti agenti patogeni sono in grado di insediarsi in una nicchia a loro favorevole, sopravvivendo per un tempo indefinito.

Le armi biologiche non sono mai state impiegate in modo massiccio a causa del pericolo e del costo che comportano la manipolazione e lo stoccaggio in grandi quantità di materiale tossico e della difficoltà di fissare un obiettivo mirato alla disseminazione di agenti biologici. Tuttavia, i progressi tecnologici registrati nell'ultimo decennio nel campo dell'ingegneria genetica hanno reso per la prima volta concretamente possibile la guerra biologica.

Si possono creare in molti modi «armi personalizzate» al DNA ricombinante. Le nuove tecnologie possono essere utilizzate per programmare geni di microrganismi infettivi, aumentandone la resistenza agli antibiotici, la virulenza e la stabilità nell'ambiente. In questi organismi è possibile inserire geni che influenzano le funzioni regolatrici dell'umore, del comportamento e della temperatura corporea. Gli scienziati affermano di essere in grado di clonare tossine elettive per eliminare specifici gruppi razziali o etnici, predisposti geneticamente a contrarre specifiche patologie; se l'intento è quello di minare l'economia di un paese, l'ingegneria genetica può essere impiegata per distruggere particolari varietà vegetali coltivate e specie di animali domestici.

Le nuove tecnologie di ingegneria genetica rappresentano una forma versatile di armamento da utilizzare per una vasta gamma di scopi militari, dal terrorismo alle operazioni antisommossa, fino alla guerra su vasta scala contro intere popolazioni civili.

Gli osservatori militari non nutrono molta fiducia nel fatto che si riesca a tenere la rivoluzione genetica a debita distanza dalle mani dei terroristi. Come mezzo di distruzione di massa, gli armamenti genetici concorrono con quelli nucleari, ma possono essere sviluppati a costi notevolmente inferiori. Questi due fattori rendono la tecnologia genetica l'arma ideale del futuro.

La scoperta che l'Iraq dispone di enormi depositi di armi batteriologiche, e che durante la guerra del Golfo si stava preparando a usarle, ha rinnovato l'interesse del Pentagono per la ricerca difensiva, mirata a contrastare la prospettiva di una corsa alle armi biologiche. Il governo di Saddam Hussein ha sviluppato quello che viene chiamato il «grande livellatore»: un arsenale di venticinque teste di guerra in grado di trasportare quasi 3¹ tonnellate di agenti biologici, fra i quali i letali bacilli botulinico e antrace. Altre 15 tonnellate di agenti batteriologici sono collocate in bombe da sganciare da aerei militari. ²Se queste armi batteriologiche fossero state usate, i risultati sarebbero stati analoghi a quelli ottenuti con l'esplosione di ordigni nucleari su Hiroshima e Nagasaki, nel 1945. Per avere un'idea del danno potenziale che avrebbero potuto arrecare, basta confrontare l'arsenale batteriologico iracheno con quanto sostenuto da uno studio condotto dal governo degli Stati Uniti nel 1993, secondo il quale basterebbero circa 110 chilogrammi di spore di antrace, rilasciate da un aereo nei cieli di Washington, per provocare la morte di 3 milioni di persone.

L'Iraq non è l'unica nazione interessata allo sviluppo di una nuova generazione di armi biologiche. Un documento redatto dalla CIA nel 1995 elenca diciassette paesi sospettati di condurre ricerche sulla guerra biologica²⁴ e di accumularne gli agenti: Iraq, Iran, Libia, Siria, Corea del Nord, Taiwan, Israele, Egitto, Vietnam, Laos, Cuba, Bulgaria, India, Corea del Sud, Sud Africa, Cina e Russia. È probabile che, con il supporto di paesi compiacenti, i terroristi ricorrono ad armi genetiche per seminare panico e caos, nel tentativo di imporre le proprie richieste alla comunità internazionale.

Il nuovo capo della Homeland Security, il governatore Tom Ridge, ha dichiarato di dare al bioterrorismo la priorità assoluta nel suo impegno per garantire la sicurezza del popolo americano. Un compito arduo, se non impossibile. Per quante iniziative di protezione si mettano in atto,

si può fare ben poco per impedire che un bioterrorista riesca a eludere la rete di sicurezza e a rilasciare nell'ambiente germi patogeni letali in grado di uccidere centinaia di migliaia - se non milioni - di persone. Come i dirottatori arabi che, armati di taglierini, sono riusciti a mettere in ginocchio, almeno per qualche giorno, la più grande città della più potente nazione del mondo, bioterroristi muniti di antrace o di altri germi patogeni, e di un minimo di conoscenza su come impiegarli, potrebbero infliggere danni di proporzioni analoghe, indebolendo ulteriormente la sicurezza dell'America e l'economia mondiale. Per esempio, lo spettro di un attacco simultaneo e coordinato di militanti islamici in diverse parti del mondo con una varietà di batteri del morbillo geneticamente modificata, per la quale non esiste ancora una cura, supera la nostra capacità di immaginazione: milioni di persone potrebbero morire in conseguenza di questo attentato, le cui ripercussioni economiche e sociali sarebbero profonde e durature.

Pochi credono che per porre fine a questa storia basti uccidere o catturare Osama bin Laden e gli altri leader di al Qaeda, e distruggerne l'organizzazione. Nel mondo, sono sempre più numerosi i giovani musulmani che cedono al richiamo di un'attività terroristica intesa anche come missione religiosa; e la maggior parte degli osservatori si aspetta che il livello e l'intensità della violenza aumenteranno, imponendo nuove e sempre più strette contromisure ai governi degli Stati Uniti e degli altri paesi, desiderosi di proteggere la propria sicurezza interna e difendere i propri interessi petroliferi in Medio Oriente. Il processo, probabilmente, si accelererà con l'avvicinarsi del picco della produzione globale di petrolio, attesa nel prossimo decennio. Nel frattempo, l'aumento della violenza farà lievitare i costi militari per il mantenimento della sicurezza del traffico del petrolio in Medio Oriente, con ritorni progressivamente decrescenti per gli Stati Uniti e per le altre principali nazioni industrializzate.

I punti deboli

Gli atti terroristici compiuti sul suolo degli Stati Uniti hanno reso gli americani consapevoli - per la prima volta - di quanto le infrastrutture e la popolazione del paese siano vulnerabili. La Casa Bianca, il Congresso e il Pentagono hanno rivolto la propria attenzione a quei punti critici che rappresentano un rischio serio per la sicurezza nazionale. Quello che hanno scoperto è che la nostra infrastruttura fondata sui combustibili fossili presenta, lungo le giunture, diversi punti deboli, esposti a distruzione e rovina. Se in uno di questi punti si dovesse creare un ostacolo al flusso d'energia per un lungo periodo di tempo, il sistema ne risulterebbe gravemente menomato.

Tre nuovi elementi rendono l'epoca storica attuale più vulnerabile di tutte quelle che l'hanno preceduta. Il primo è il salto qualitativo nella produzione alimentare, reso possibile dall'applicazione alle coltivazioni agricole di fertilizzanti e pesticidi sintetizzati da idrocarburi, nonché la simultanea sostituzione del lavoro umano e animale con macchine alimentate a combustibili liquidi, che ha creato le condizioni per una migrazione di massa delle popolazioni rurali verso le aree urbane. Il secondo è l'esplosione demografica verificatasi in tutto il pianeta nel corso del Novecento, e dovuta, almeno in parte, agli ingenti surplus garantiti dalla moderna produzione agricola. Il terzo elemento è costituito dalle reti dei trasporti e della distribuzione elettrica, alimentate dall'energia ricavata dai combustibili fossili, che connettono milioni di persone in una struttura sociale fortemente organizzata e interdipendente, dal cui funzionamento dipende la sopravvivenza di ogni individuo che ne fa parte. Dunque, nella nostra architettura sociale contemporanea i punti deboli sono: un sistema agricolo basato sulla petrolchimica; la densità della popolazione urbana; un sistema di trasporti fondato sui combustibili fossili, che muove rapidamente uomini e merci fra comunità rurali, urbane e su-

burbane, e attraverso continenti e oceani; una rete elettrica, il «sistema nervoso centrale», che fornisce luce, calore e reti di telecomunicazione indispensabili per coordinare il funzionamento dei sottosistemi che costituiscono la società nel suo complesso. Ognuno di questi punti vitali, che compongono il superorganismo che abitualmente definiamo «economia industriale e informatica», esiste solo grazie alla continuità del flusso di greggio e, in misura minore, di gas naturale e carbone.

Ogni volta che si accenna alla preoccupazione per l'esaurirsi delle riserve di petrolio, la gente comincia subito a temere di non avere più benzina a sufficienza per continuare a viaggiare in automobile. L'idea di auto, camion, autobus e aerei rallentati o addirittura fermi per scarsità di carburante è certamente spaventosa e avrebbe effetti devastanti sull'economia e sulla società, ma ciò che spesso non viene considerato è il fatto che il petrolio - e il gas naturale - sono anche fondamentali per il mantenimento della produzione agricola e per l'alimentazione del sistema elettrico che ci fornisce energia, calore e luce. Se questi sistemi si bloccassero, l'intero organismo sociale crollerebbe.

L'agricoltura nel petrolio

L'agricoltura fornisce il nucleo di energia necessaria per il mantenimento della società industriale in uno stato ben lontano dall'equilibrio. L'agricoltura moderna è dipendente, quasi esclusivamente, dal petrolio. Se questo cominciasse a scarseggiare e a costare di più, o diventasse meno facilmente reperibile, ne risentirebbe ogni aspetto della vita contemporanea.

La produzione alimentare moderna ha reso possibili tutti gli altri sistemi economici, che poggiano su di essa. L'abbondanza di cibo e la liberazione della manodopera agricola hanno reso possibile la rivoluzione manifatturiera del Novecento e, più tardi, l'economia dei servizi e dell'informazione. E benché, nell'ultimo mezzo secolo, i prodotti ;

agricoli siano diventati merci di scarso valore e, in termini relativi, nel medesimo periodo, i prezzi dei generi alimentari siano rimasti bassi e stabili, questo stato di cose potrebbe cambiare repentinamente nel momento in cui la produzione petrolifera raggiungesse il picco e i prezzi del greggio decollassero.

Attualmente, negli Stati Uniti, il 4% dell'energia consumata è assorbito dalla produzione agricola. Un'ulteriore quota valutabile fra il 10 e il 13% è utilizzata per la preparazione, il confezionamento, il trasporto e la consegna dei generi alimentari ai supermercati. Dunque, oltre il 17% del consumo totale di energia viene speso per portare il cibo sulle nostre tavole.

Molti antropologi considerano l'aumento della resa della produzione agricola come uno dei più grandi successi dell'era moderna, un successo ottenuto sostituendo il lavoro umano con quello di macchine alimentate con combustibili fossili, e con il sempre più massiccio impiego di fertilizzanti e pesticidi petrolchimici. Il primo trattore alimentato a benzina fu costruito da John Froehlich nel 1892. Già nel 1910, le aziende agricole americane disponevano di 25.000 trattori. Quando Henry Ford presentò il Fordson, un modello economico e affidabile, le vendite dei trattori decollarono. Alla vigilia della seconda guerra mondiale i trattori impiegati nel settore agricolo erano 1,6 milioni; nel 1960 erano diventati 4,7 milioni. ²⁸L'uso di autocarri ha avuto una crescita analoga. Nel 1915 le aziende agricole americane disponevano di soli 25.000 autocarri, negli anni Ottanta erano già oltre 3,5 milioni. In meno di un secolo, il motore a benzina, applicato a trattori, autocarri e mietitrici, ha sostituito il lavoro di uomini, cavalli, muli e buoi come fonte primaria d'energia per la produzione agricola.

La rivoluzione meccanica dell'agricoltura nella prima metà del Novecento è stata seguita, nei successivi cinquant'anni, dalla rivoluzione chimica. Fra il 1950 e il 1989 l'uso di fertilizzanti azotati inorganici, sintetizzati con processi

petrolchimici, è passato da 14 a 143 milioni di tonnellate. Fra il 1950 e il 1986 l'impiego di pesticidi è passato da 100.000 tonnellate a 6400 milioni di tonnellate.

La meccanizzazione dell'agricoltura e l'uso massiccio di fertilizzanti azotati e pesticidi di natura petrolchimica, unitamente ai progressi nell'allevamento e all'introduzione di monocolture ad alta resa, hanno fatto aumentare drasticamente la produzione alimentare nel corso del Novecento, pur riducendo sensibilmente la quantità di lavoro necessaria nelle aziende agricole. Nel 1850 il 60% degli occupati americani era impiegato nel settore primario, oggi la percentuale dei coltivatori diretti è scesa sotto il 2,7%. Nello stesso tempo, le rese agricole sono esplose: nel 1850 un agricoltore produceva cibo a sufficienza per sfamare quattro persone, oggi per settantotto. La produttività agricola è aumentata del 25% negli anni Quaranta, del 20 nei Cinquanta, del 17 nei Sessanta e più del 28 negli Ottanta.

Tali aumenti di resa e produttività, però, sono stati ottenuti a costo di un maggior impiego di derivati del petrolio nei processi di lavorazione. Dal punto di vista termodinamico, l'agricoltura moderna è quella meno produttiva nella storia del mondo, dal momento che deve utilizzare, per unità di energia prodotta, quantità di input energetici superiori a quelle registrate in passato. Un piccolo coltivatore produceva mediamente 10 calorie per ogni caloria spesa, mentre oggi un grande agricoltore dello Iowa, ricorrendo alle tecnologie più avanzate, può produrre 6000 calorie per ogni caloria di lavoro umano consumata; ma tale risultato diviene assai meno significativo, se si calcola la quantità totale di energia impiegata per ottenere il ricavo energetico netto. Per produrre una scatoletta di mais che contiene 270 calorie, un agricoltore moderno usa fino a 2790 calorie, fra fertilizzanti, pesticidi e carburanti. In media, dunque, le aziende agricole americane, con la loro sofisticata tecnologia, consumano 10 calorie per ogni caloria di energia effettivamente prodotta.

L'aumento del flusso di energia ha avuto anche la conse-

guenza di un aumento dell'entropia nell'ambiente. A causa dell'intensificazione delle pratiche agricole la base del terreno si è impoverita ed erosa e, per sostenere le rese, è necessario utilizzare quantità crescenti di fertilizzanti sintetici. L'azoto dei fertilizzanti è attualmente responsabile della metà dell'inquinamento idrico e di due terzi di quello dovuto a rifiuti solidi. La monocoltura - cioè la coltivazione di un'unica varietà vegetale su superfici molto estese - ha permesso economie di scala, aumentando produttività e profitti, ma ha anche richiesto quantità crescenti di pesticidi. Le pratiche agricole più tradizionali si affidavano alla diversificazione delle colture per attrarre una vasta gamma di insetti, alcuni dei quali sono nemici naturali delle specie dannose per le coltivazioni; eliminando la diversità delle colture a favore della monocoltura, si sono privati i campi della benefica presenza di alcune specie di insetti, rendendo le colture stesse più vulnerabili agli attacchi dei parassiti e imponendo l'uso massiccio dei pesticidi. Gran parte dei pesticidi irrorati percola nelle falde acquifere e diviene la maggior fonte di inquinamento delle acque nelle aree agricole di tutto il mondo.

I pesticidi contribuiscono anche alla distruzione di quel che resta del suolo. Lo strato superficiale della terra contiene milioni di batteri microscopici, funghi, alghe e protozoi, oltre a vermi e artropodi, tutti organismi che salvaguardano la fertilità e la struttura del terreno. I pesticidi li distruggono, insieme con il loro habitat complesso, accelerando il processo di erosione e di impoverimento del terreno. Le fattorie americane distruggono ogni anno 4 miliardi di tonnellate di strati superficiali di terreno, in gran parte a causa delle tecnologie agricole introdotte negli ultimi cinquant'anni. Già negli anni Settanta gli Stati Uniti avevano perso più di un terzo degli strati superficiali fertili dei terreni agricoli. L'impoverimento e l'erosione del terreno hanno richiesto, a loro volta, un quantitativo sempre crescente di fertilizzanti chimici per mantenere inalterato il livello della produzione agricola. A questo

punto, i ritorni marginali sono diventati negativi: per produrre aumenti sempre più risibili della resa netta devono essere impiegate quantità sempre crescenti di energia. Fra il 1945 e il 1970, per esempio, i coltivatori americani di mais hanno aumentato del 400% l'input energetico a fronte di un aumento della resa limitato al 138%. Nei primi due decenni di agricoltura fortemente basata sulla petrolchimica, subito dopo la seconda guerra mondiale, l'input energetico complessivo dell'agricoltura è aumentato del 70%, ma la produzione alimentare è cresciuta solo del 30%. Inoltre, gli alti consumi energetici dell'agricoltura attuale contribuiscono al surriscaldamento del pianeta: la meccanizzazione ha significato un maggior consumo di carburanti, con conseguente aumento delle emissioni di CO₂, mentre il consumo massiccio di fertilizzanti di sintesi ha aumentato il rilascio nell'atmosfera di ossido nitroso, un potente gas serra.

Il progressivo aumento dei costi di mantenimento di un'agricoltura tecnologicamente complessa, ad alto consumo energetico, ha fatto fallire molti piccoli agricoltori. La nuova agricoltura richiede economie di scala e grandi investimenti di capitale. Oggi, negli Stati Uniti, più del 38% dei prodotti agricoli venduti provengono da meno di 32.000 grandi aziende.

Negli anni Sessanta, dagli Stati Uniti e dall'Europa la rivoluzione chimica si è diffusa nei paesi in via di sviluppo, innescando la cosiddetta «rivoluzione verde». I paesi asiatici erano particolarmente provati da una crescita esponenziale della popolazione, in un continente in cui ogni fazzoletto di terra coltivabile era già sfruttato per la produzione agricola. Per soddisfare la domanda di una popolazione in aumento, gli scienziati hanno creato delle supervarietà di frumento e di riso, che miglioravano nettamente la resa per ettaro. In paesi come l'India e il Pakistan, queste varietà ad alto rendimento permisero di raddoppiare la produzione in meno di dieci anni, pur richiedendo l'utilizzo di imponenti quantitativi di fertilizzanti di sintesi e pesticidi chimi-

ci. Le monoculture, il cui prodotto era in molti casi destinato all'esportazione, anziché al mercato interno, se consentivano notevoli economie di scala richiedevano però grossi investimenti, e questo ebbe l'effetto di costringere molti piccoli contadini, che praticavano un'agricoltura finalizzata all'autoconsumo, ad abbandonare la terra per fare spazio ad aziende agricole di grandi dimensioni. In tutto il Terzo Mondo contadini spogliati della terra furono costretti a emigrare nelle grandi città, dove molti vivevano grazie alla pubblica assistenza o in mezzo a una strada.

Abbiamo costruito un'infrastruttura agricola mondiale fondata sui combustibili fossili, e l'aumento a breve termine delle rese agricole ha consentito una forte espansione tanto della popolazione complessiva quanto di quella urbana. Oggi, con la produzione globale di petrolio che, probabilmente, nel prossimo decennio raggiungerà il picco, facendone aumentare il prezzo, come potremo sostenere le attuali rese agricole per nutrire la popolazione in crescita del ventunesimo e ventiduesimo secolo? Nonostante il petrolio sia ancora disponibile in abbondanza e a buon mercato, e le rese agricole siano elevatissime, circa un miliardo di persone sono sottoalimentate. Questo dovrebbe aiutare a immaginare la situazione che si verificherà quando, con il raggiungimento del picco della produzione petrolifera, i prezzi del greggio aumenteranno irreversibilmente.

Le aziende di biotecnologie indicano, come soluzione, le varietà alimentari geneticamente modificate. Ma anche queste specie richiedono elevati input energetici, soprattutto sotto forma di fertilizzanti petrolchimici: gli scienziati non sono ancora riusciti a creare varietà vegetali biotecnologiche in grado di estrarre l'azoto direttamente dall'aria anziché dal suolo; e gli studi fin qui condotti presentano risultati contraddittori in termini di rendimenti. Le prospettive future dell'agricoltura sembrano ancora più tette, se si considera il fatto che l'11% delle terre emerse è già sfruttato per produzioni alimentari, il che lascia ben poche terre utili

ancora da destinare all'agricoltura. Ridotti alla disperazione, gli uomini hanno cominciato ad abbattere vaste porzioni di foresta, in Amazzonia e in altre parti del mondo, per rendere coltivabili le terre così liberate. Ma la deforestazione elimina habitat preziosi per molte specie di flora e fauna presenti sulla terra. Inoltre, lo strato di humus delle foreste è molto sottile e non può sostenere la produzione agricola per più di qualche anno. Il risultato è un'accelerazione dei processi di erosione e di isterilimento del suolo, che diviene inadatto a ospitare qualsiasi forma di vita umana, animale o vegetale.

A peggiorare le cose, un terzo dei terreni agricoli del mondo è stato convertito dalla produzione destinata all'alimentazione umana a quella destinata alla nutrizione bovina e di altre specie animali. La produzione di carne bovina è, oggi, l'attività agricola \hat{d}^2 maggior consumo energetico: negli Stati Uniti, per produrre 1 chilogrammo di carne di bovino allevato a cereali è necessario un consumo energetico pari a 9 litri di benzina. Per sostenere il fabbisogno di carne bovina di una famiglia americana media di quattro persone viene consumata una quantità d'energia equivalente a 1170 litri di \hat{d}^3 combustibili fossili. E il consumo di una tale quantità d'energia rilascia nell'atmosfera 2,5 tonnellate di C_0 , pari alle emissioni di un'automobile in sei mesi di normale utilizzo.

Se i consumatori benestanti dell'Occidente e di altre regioni del globo fossero disposti a rinunciare alla loro dieta carnea, scendendo alcuni gradini della catena alimentare e adottando un regime prevalentemente vegetariano, preziosi appezzamenti potrebbero essere destinati alla coltivazione di cereali da destinare all'alimentazione di milioni di persone. Tuttavia, il cambiamento delle abitudini alimentari dell'Occidente dovrebbe essere accompagnato da una riforma agraria e da altre modifiche strutturali in tutto l'emisfero lustrale, in modo che i poveri potessero tornare in possesso della terra e dedicarsi alla coltivazione di cereali per il sostentamento proprio e della comunità. ,

Leader politici, economisti e consumatori tremano all'idea di non avere più benzina a disposizione per le loro auto. Più preoccupante, però, nella parte decrescente della curva a campana di Hubbert della produzione petrolifera, dovrebbe essere la prospettiva di un aumento del costo della produzione agricola tale da non permettere a centinaia di milioni, forse miliardi, di persone di avere cibo a sufficienza per sé e per la propria famiglia. Esistono già fonti energetiche alternative per alimentare automobili e autocarri (ne parleremo diffusamente nell'ottavo capitolo), mentre attualmente non esiste alcun sostituto dei fertilizzanti petrolchimici. Questo significa che ogni litro di benzina che bruciamo oggi nelle nostre automobili è un litro in meno a disposizione per la produzione alimentare del futuro: un'equivalenza che ci lascia⁴⁴stupefatti. Immaginiamo un'automobile che percorra 11 chilometri con 1 litro di benzina: ogni 7,5 chilometri consuma energia sufficiente alla produzione di un filone di pane. Prossimamente potremo essere costretti a scegliere fra mobilità personale e alimentazione. È sorprendente che, in tutta la discussione sul petrolio e sul futuro dell'era degli idrocarburi, nessun esponente politico abbia mostrato interesse ad affrontare pubblicamente la questione.

Negli ultimi centocinquant'anni, la disponibilità di energia derivante dai combustibili fossili ha portato a un'esplosione della popolazione umana. Fino al 1825 c'è voluta l'intera storia per raggiungere il miliardo di persone. Con l'avvento dell'era del carbone e l'aumento esponenziale del flusso di energia, la popolazione è raddoppiata, raggiungendo i 2 miliardi in meno di un secolo. Un altro miliardo si è⁴⁵aggiunto fra il 1925 e il 1960, in corrispondenza dell'avvento dell'era del petrolio. La popolazione mondiale ha toccato i 4 miliardi nel 1975 e i 5 dodici anni dopo, nel 1987.

(Il rapido incremento demografico, conseguente a un'alimentazione qualitativamente e quantitativamente migliore - oltre che ai progressi della scienza medica -, ha avuto

un immediato feedback. Un maggior numero di persone richiede un'organizzazione sociale più complessa, il che comporta lo sfruttamento di una parte più cospicua delle riserve energetiche disponibili per il mantenimento degli organismi istituzionali. Lo Stato-nazione costituisce uno dei primi esempi del funzionamento del processo energetico. Le ferrovie e il telegrafo hanno permesso l'espansione degli scambi e dei commerci attraverso aree geografiche sempre più vaste. A sua volta, l'accresciuta attività commerciale ha dato vita a una nuova entità politica, lo Stato-nazione: un apparato di governo sufficientemente ampio da assicurarsi risorse lontane, attingere a diversi bacini di forza lavoro e coordinare mercati al consumo di massa. Lo storico Charles Tilly stima che, all'inizio del Cinquecento, l'Europa fosse composta da più di cinquecento piccoli governi autonomi: città-Stato, principati e regni. Nel 1975 il numero dei governi nazionali si era ridotto a trentacinque. Nel ventunesimo secolo, grazie alla crescente rapidità dei trasporti terrestri e aerei e all'immediatezza della comunicazione, che hanno abbreviato le distanze e compresso i tempi, l'Europa si sta rapidamente avviando a diventare un'unica entità politica. Nel 2002 l'Unione europea ha adottato una moneta comune e, probabilmente, nei prossimi cinque anni amplierà il numero dei paesi membri dagli attuali quindici a ventisette, che diventeranno parte di una struttura amministrativa di portata continentale, estesa dall'Atlantico all'ex Unione Sovietica.

Ancora più impressionante, nel corso dell'era dei combustibili fossili, è la spettacolare crescita delle megalopoli ad alto flusso energetico. Prima dell'epoca attuale, le città avevano una dimensione molto più ridotta: l'antica Babilonia, all'apice del suo splendore, aveva solo 100.000 abitanti. La popolazione dell'Atene classica era inferiore ai 50.000 abitanti. Intorno al 1820, Londra divenne la prima città dell'era dei combustibili fossili a raggiungere il milione di abitanti. Cent'anni dopo, nel mondo solo undici città superavano la soglia del milione di abitanti. Già nel 1950, però,

eranp diventate settantacinque, e nel 1976 più di centonovanta. Oggi sono moltissime le città che, in tutto il mondo, superano il milione di abitanti, e diciannove, fra le quali Tokyo, Città del Messico, Bombay, San Paolo, Shanghai e New York sono megalopoli con una popolazione compresa fra i 10 e i 25 milioni di abitanti.

Soltanto due secoli fa, la maggioranza della popolazione mondiale viveva in aree rurali, in piccoli villaggi e paesi. Oggi, più della metà degli uomini abitano in aree urbane densamente popolate. Queste città e i loro sobborghi sopravvivono assorbendo dall'ambiente circostante enormi quantità di cibo, energia, acqua e risorse minerali. Ogni ventiquattr'ore una città tipica di un milione di abitanti consuma circa 2000 tonnellate di generi alimentari, 625.000 tonnellate d'acqua potabile e 9500 di combustibili; la maggior parte di queste risorse deve essere trasportata da regioni lontane. Le infrastrutture urbane sono grandi consumatrici di energia: per esempio, la Sears Tower di Chicago consuma ogni giorno più energia di una città di 150.000 abitanti.

Le città esistono anche grazie al motore a combustione interna su ruote, che collega campagna, sobborghi e centri urbani in una rete capillare di trasporti. Prima dell'avvento della ferrovia, del trasporto su gomma e delle moderne tecniche di refrigerazione, la spedizione di prodotti agricoli a migliaia di chilometri di distanza dai luoghi di produzione non sarebbe stata possibile: tutti questi progressi sono dovuti alla combustione di enormi quantità di petrolio.

Il punto che qui va sottolineato è che far vivere la metà della popolazione umana in ambiti urbani non sarebbe neppure concepibile senza l'aumento di rendimento e produttività delle attività agricole, determinato dall'utilizzo del petrolio per alimentare le macchine, per fertilizzare la terra e per sconfiggere i parassiti, oltre che per trasportare i prodotti verso le aree metropolitane. Le città, dunque, sono assetti precari, costruiti su fragili e vulnerabili fondamenta agricole. Continueranno a esistere solo finché la produzione agricola riuscirà a supportarle.

Senza elettricità

Il nostro disinteresse per il ruolo fondamentale del petrolio nei processi di produzione del cibo che nutre le nostre famiglie è comprensibile, dal momento che l'attività agricola è lontana, nel tempo e nello spazio, dalle nostre vite urbane. Lo stesso vale per l'elettricità, a cui ci affidiamo ormai completamente anche nelle nostre più banali attività quotidiane. La rete elettrica è il sistema nervoso centrale che coordina l'esistenza di chi vive in aree urbane densamente popolate. Senza energia elettrica, la vita cittadina non sarebbe possibile, l'era dell'informazione diventerebbe un pallido ricordo e la produzione industriale cesserebbe. Il modo più semplice per porre fine all'era moderna sarebbe staccare la spina e interrompere il flusso di elettricità. Luce, calore ed energia scomparirebbero. La civiltà, così come la intendiamo oggi, smetterebbe di esistere.

È difficile immaginare cosa sarebbe la nostra vita senza elettricità, anche se non è passato ancora un secolo da quando ha iniziato a essere utilizzata come fonte d'energia. La maggior parte dei nostri nonni era nata in un mondo senza elettricità, mentre oggi la diamo per scontata, solo perché, come il cibo, è disponibile in abbondanza. Difficilmente ci capita di domandarci da dove venga e come arrivi fino a noi: è una specie di forza segreta, che scorre in cavi sospesi, interrati o incassati nei muri delle nostre case; non ha colore né odore, ed è una presenza invisibile, ma indispensabile, nelle nostre vite.

Quanti hanno visitato una centrale elettrica e osservato da vicino come viene generata l'elettricità? La maggior parte di noi tende a considerare l'elettricità una fonte primaria d'energia, e non si ferma a pensare che, invece, è prodotta in massima parte bruciando carbone, petrolio o gas naturale.

Qual è la probabilità che la distribuzione di energia elettrica s'interrompa, e non per un breve momento ma per un lungo periodo di tempo? Sfortunatamente, la rete elettrica della nazione è sempre più vulnerabile in caso di

attacchi terroristici o di scarsità di energia. Già prima dell'11 settembre, alcuni funzionari governativi temevano che gli impianti di generazione americani, le linee di distribuzione e l'infrastruttura di telecomunicazione potessero rappresentare un bersaglio per eventuali attentati. Nel 1997 la President Commission on Critical Infrastructure Protection avvertiva che uno dei futuri obiettivi dei cyberterroristi avrebbe potuto essere costituito dai programmi software che gestiscono le centrali di smistamento della rete di distribuzione elettrica. Il danneggiamento di questa rete getterebbe nel caos le infrastrutture economiche e sociali della nazione. Richard A. Clarke, che guida le attività antiterrorismo informatico dell'amministrazione Bush, teme l'eventualità di una «Pearl Harbor elettronica». Un rapporto pubblicato dall'Institute for Security Technology Studies poco dopo l'11 settembre ammoniva che la reazione militare americana contro la rete terroristica al Qaeda e il governo afgano guidato dai talebani avrebbe potuto scatenare una controreazione mirata alle infrastrutture elettroniche statunitensi. Jeffrey A. Hunker, decano della Heinz School of Public Policy and Management presso la Carnegie Mellon University ed ex Senior Director for Protection of Critical Infrastructure al National Defense Council, ritiene che gli Stati Uniti siano «seduti su una bomba informatica».

Recentemente il governo americano ha istituito un Infrastructure Protection Center per il coordinamento delle diverse istituzioni locali, statali e federali deputate alla sicurezza e all'ordine pubblico, nelle attività di difesa contro i crimini informatici mirati alla distruzione dell'infrastruttura elettronica americana. Al di là delle dichiarazioni pubbliche, molti esperti nel campo della sicurezza elettronica non credono nella possibilità di difendere efficacemente la rete elettrica nazionale. Lo stesso rapporto della commissione presidenziale rilevava che, nel 2001, c'erano nel mondo oltre 19 milioni di persone dotate delle competenze informatiche sufficienti a provocare danni di modesta entità al si-

stema elettrico nazionale e 1,3 milioni in possesso delle conoscenze specialistiche sul funzionamento della rete di distribuzione elettrica e del sistema di telecomunicazioni necessarie per produrre danni significativi.

Negli ultimi trentasette anni la rete elettrica americana ha sperimentato problemi di fornitura e distribuzione dell'energia in diverse occasioni, e ogni volta si è scatenato il panico, dando un'idea di quel che potrebbe accadere se i blackout diventassero più frequenti e di maggiore durata. Il primo grande blackout si verificò il 9 novembre 1965, quando un unico guasto a una centralina di smistamento in Canada ebbe un effetto a cascata sulla distribuzione elettrica che coinvolse buona parte del Nordest degli Stati Uniti, precipitando l'intera zona nel buio. Più di 30 milioni di americani, negli Stati di New York, Massachusetts, Vermont e Maine, rimasero senza energia elettrica per dodici ore. Nella città di New York ci furono persone bloccate negli ascensori, o in colossali ingorghi di traffico provocati dallo spegnimento di tutti i semafori del territorio metropolitano. Elettricità, luce e servizi telefonici non funzionavano più. Su New York e sul resto del Nordest calò un silenzio spettrale. Improvvisamente, milioni di persone abituate a un rapporto con la realtà mediato dall'elettricità si trovarono inermi e senza via d'uscita: le molte apparecchiature cui avevano affidato gran parte della propria esistenza erano fuori uso. Per qualche ora, la vita a New York tornò a sembrare quella di un villaggio, con la gente che scendeva in strada alla ricerca di informazioni e di conforto da perfetti estranei trasformati di colpo in vicini di casa. Secondo la polizia, in questo primo caso il tasso di criminalità nella città di New York fece registrare una caduta. Nove mesi dopo, le autorità sanitarie della città, evidentemente divertite, segnalano un'inattesa ondata di nascite: pare che l'impossibilità di assistere allo spettacolo televisivo serale avesse convinto molti newyorkesi a dedicarsi a forme d'intrattenimento più tradizionali.

Ciononostante, l'opinione pubblica era furibonda per

quanto accaduto. Si avviarono inchieste, si formularono raccomandazioni e si misero in atto cambiamenti per evitare che si potesse verificare un altro blackout. Ma, a dispetto di tutte le assicurazioni, accadde di nuovo. La sera del 13 luglio 1977 un fulmine colpì un traliccio nella contea di Westchester, a nord di New York, generando un cortocircuito fra due linee ad alta tensione e innescando una sequenza di eventi che paralizzò la rete elettrica nella città e nei dintorni di New York. Il blackout interessò 9 milioni di persone per più di quindici ore. Diversamente da quanto era avvenuto nel 1965, quando la sospensione dell'erogazione di energia elettrica si era verificata in una fresca notte di novembre, questa volta l'incidente accadde alle 21.34 di una serata calda e umida, fermando i condizionatori e mandando in frantumi il sistema nervoso di molte persone. Nei quartieri più poveri la folla si scatenò, bruciando case e saccheggiando negozi. Vennero arrestate più di 4000 persone e, negli scontri, 78 agenti di polizia rimasero feriti. Il presidente della Consolidated Edison, la società che gestiva la fornitura di energia alla città e ai suoi sobborghi, definì l'evento «un atto di Dio». Osservando i danni provocati dai saccheggiatori nel quartiere di Bushwick, a Brooklyn, un prete cattolico espresse un'opinione totalmente diversa, proclamando che «ormai Dio non c'è più».

Anche la costa occidentale degli Stati Uniti ha sperimentato analoghi blocchi della distribuzione di elettricità e diffusi blackout. Il primo blocco di grandi proporzioni si è verificato alle 15.45 del 10 agosto 1996 e ha interessato un'area compresa fra l'Oregon e il confine messicano: nove Stati sono rimasti privi - totalmente o parzialmente - di energia elettrica in uno dei giorni più caldi dell'anno, con temperature che hanno oltrepassato i 45 °C. Restarono completamente senza energia elettrica 5 milioni di abitanti della California. L'origine del blackout è stata fatta risalire ad alcune linee ad alta tensione in Oregon, i cui cavi, allentati dalla straordinaria ondata di calore, avrebbero

toccato le cime degli alberi, innescando il cortocircuito⁴. L'evento ha prodotto una reazione a catena che ha avuto ripercussioni lungo tutta la costa del Pacifico, bloccando rapidamente la fornitura di elettricità nell'intera regione.

I cosiddetti blackout a singhiozzo hanno colpito la California nel marzo del 2001, interessando 800.000 persone fra l'Oregon e l'Orange County, nella California meridionale⁵. Questa volta la ragione è stata l'incapacità di generare energia a sufficienza per far fronte a un picco della domanda dovuto a una straordinaria ondata di caldo. Diversamente dai blackout che un quarto di secolo prima riguardarono la zona nordorientale del paese, quelli della costa occidentale hanno avuto una ripercussione sui sistemi informatici locali, con effetti devastanti sull'economia. Nel corso di questo quarto di secolo la nazione è diventata sempre più dipendente dai computer, da Internet e dai collegamenti intranet per lo scambio di informazioni, l'archiviazione dei dati, l'esecuzione di transazioni commerciali, per i flussi bancari e creditizi e per un'amplessissima gamma di altri servizi fondamentali e vitali. La ripercussione di un blackout anche di pochi minuti è oggi assai più grave che in passato, quando i computer e le reti informatiche avevano un ruolo di minor rilievo nella vita quotidiana.

Vale la pena notare che se da un lato i blackout mettono seriamente a repentaglio il funzionamento delle superautostrade informatiche, dall'altro la diffusione del computer e del suo utilizzo ha avuto l'effetto di porre ulteriormente sotto pressione la rete elettrica degli Stati Uniti e di altri paesi, aumentando la probabilità che in futuro possano verificarsi interruzioni nella fornitura. Per quanto sia vero che i microprocessori diventano sempre più efficienti e in grado di elaborare volumi superiori di informazioni in tempi più brevi e con un carico elettrico inferiore, la domanda complessiva di energia per l'alimentazione dei computer cresce più rapidamente della loro efficienza energetica. Secondo Peter W. Huber, analista delle tecnologie avanzate,

«per creare, "pacchettizzare", archiviare e trasferire 2 megabyte di dati» si consuma mezzo chilo di carbone. Il risultato è che la domanda di energia elettrica per alimentare i personal computer raddoppia ogni pochi anni. Huber afferma che non si presta sufficiente attenzione al fatto che «i chip generano sempre più calore, le ventole girano più velocemente, e il consumo di energia di disk drive e schermi è in aumento».

I primi entusiasti sostenitori della rivoluzione digitale affermavano che il trasferimento nel mondo virtuale di una parte sostanziale della vita economica e sociale avrebbe comportato un risparmio di enormi quantità di energia, eliminando i costi di trasporto e di manutenzione delle strutture fisiche. Il che è vero. Solo recentemente, però, ci si è resi conto del crescere della domanda di energia elettrica indotto dalla migrazione nel cibernazio. Huber sottolinea che ognuno dei 50 miliardi di circuiti integrati e dei 200 milioni di microprocessori prodotti ogni anno è ad alimentazione elettrica. I chip non solo consumano energia elettrica, ma richiedono potenze elevate: secondo Huber, un PC di media potenza assorbe 1000 watt. Se, come afferma uno studio condotto da IntelliQuest, l'utente medio di Internet è on-line dodici ore la settimana., il consumo probabile di energia elettrica si aggira intorno ai 1000 kilowattora; moltiplicando questo dato per 50 milioni di PC nelle case private, 150 milioni di computer nelle aziende e 20 milioni di nuovi utenti Internet ogni anno nei soli Stati Uniti, risulta evidente qual è la dimensione del carico che la rete elettrica nazionale dovrà sostenere. Huber scrive: «Per il vecchio complesso di generazione termoelettrica, già considerato da molti in stato di avanzato declino, le implicazioni sono enormi». E siamo solo alle prime fasi della rivoluzione del cibernazio. La rete *wireless* (senza fili), sostiene Huber, richiede ancora più energia elettrica, in quanto il segnale deve essere trasmesso in ogni direzione anziché trasportato in un cavo a fibre ottiche. Il settore industriale *wireless* sta già progettando di

costruire nei prossimi anni 70.000 stazioni radio, da raddoppiarsi nel corso del prossimo decennio. Ognuna di queste stazioni brucerà un paio di kilowatt di elettricità.

Una nazione a rischio

Negli anni Settanta, alla vigilia dell'embargo petrolifero dei paesi OPEC e della conseguente carenza di energia, la Defense Civil Preparedness Agency del Pentagono commissionò uno studio per valutare la vulnerabilità e i punti deboli del sistema energetico americano. Il rapporto finale, pubblicato il 13 novembre 1981 dalla Federal Emergency Management Agency, sebbene all'epoca sia stato scarsamente notato, offriva già una disamina approfondita di molte carenze del sistema di distribuzione dell'energia in America. Il quadro tratteggiato dal rapporto è quello di un sistema altamente complesso, interdipendente e fragile, a rischio di gravi danni a causa di attacchi terroristici, guasti tecnologici, scarsa manutenzione, disastri naturali e interruzioni nella fornitura.

Il rapporto toccava quasi tutti gli aspetti del sistema energetico nazionale, ma di particolare importanza era l'analisi delle carenze della rete elettrica. A tutt'oggi, i problemi evidenziati in quello studio sono rimasti in gran parte irrisolti e rappresentano un rischio superiore che in passato per la sicurezza dell'economia e del paese, ove si considerino la concomitante minaccia del picco nella produzione di petrolio e di gas naturale, il fatto che le infrastrutture sono entrate nel mirino del terrorismo di matrice islamica e il riscaldamento dell'atmosfera terrestre provocato dal massiccio ricorso ai combustibili fossili. Amory e Hunter Lovins, analisti del settore energetico presso il Rocky Mountain Institute di Snowmass, Colorado, a cui venne commissionato il rapporto, hanno in seguito approfondito alcuni degli elementi più critici emersi dal loro studio.

Tanto per cominciare, l'energia utilizzata per alimentare la rete elettrica statunitense si trova solitamente lontano

dall'utente finale. Per esempio, in media, un barile di petrolio estratto da pozzi nazionali deve percorrere una distanza fra i 900 e i 1500 chilometri prima di giungere a destinazione. Inoltre, molte centrali di generazione⁶⁹ sono ubicate a centinaia di chilometri dai consumatori, sicché l'elettricità, per arrivare al cliente, deve compiere in media un viaggio di poco inferiore ai 350 chilometri. Questo significa che tanto l'energia quanto l'elettricità sono esposte sia al maltempo sia a eventuali sabotaggi.

Poiché la costruzione di nuove centrali richiede ingenti investimenti di capitale, un lungo periodo di tempo per renderle operative e un'aspettativa di vita produttiva ancor più lunga - alcune centrali rimangono attive per diverse decine di anni -, il sistema è, in sé, relativamente rigido e non può essere adattato rapidamente e facilmente per fronteggiare le emergenze, come brevi interruzioni delle forniture di energia, eccesso o insufficienza di domanda, esaurimento delle risorse energetiche disponibili. Come detto, molte società elettriche americane hanno investito enormi capitali in una nuova generazione di centrali alimentate a gas naturale. Ma se i più recenti studi geologici si dimostrassero corretti, e la produzione globale di gas naturale raggiungesse il picco immediatamente dopo quella del petrolio, intorno al 2020, le compagnie elettriche avrebbero maggiori difficoltà ad assicurare il rifornimento di gas naturale e sarebbero costrette a ridurre la quantità di energia generata, contribuendo a danneggiare gravemente l'economia e la società nel loro complesso.

A differenza delle forme primarie d'energia, l'elettricità non può essere conservata. È, invece, un flusso continuo: nel momento stesso in cui viene generata, deve cominciare a viaggiare lungo le linee di distribuzione verso l'utente finale. Non potendo essere accumulata, in caso di guasto in un punto qualunque della linea di flusso non c'è alcun surplus di energia facilmente accessibile per colmare la perdita.

Quando la rete elettrica s'interrompe, tutto ciò che nella zona geografica interessata dal guasto è alimentato elettrica-

mente si ferma. In un blackout, quel che è connesso alle linee elettriche smette di funzionare. Eventi del genere sono catastrofici perché universali, ovvero nessuna attività che utilizzi energia elettrica può essere risparmiata. Per quanto sia più importante mantenere il flusso di corrente nelle sale operatorie degli ospedali o verso le apparecchiature delle torri di controllo degli aeroporti, anziché verso i frigoriferi e i condizionatori domestici, la rete non è in grado di discriminare: se il flusso si blocca, tutto il sistema si blocca. Ecco perché attività e servizi di prima necessità affidano sempre più la propria sicurezza a generatori autonomi d'emergenza.

L'interruzione dell'elettricità condiziona anche il flusso delle altre fonti primarie di energia. Le caldaie domestiche sono alimentate a gas o a gasolio, ma hanno bisogno dell'elettricità per essere avviate, per pompare il carburante nel bruciatore e per distribuire il calore. Analogamente, la pompa dei distributori di benzina è elettrica. Gli acquedotti municipali e i sistemi di depurazione delle acque nere funzionano grazie all'elettricità. Le raffinerie dipendono dall'elettricità per il proprio funzionamento, esattamente come i motori che pompino il petrolio dai pozzi.

Oleodotti e gasdotti che riforniscono le raffinerie e gli impianti di generazione sono talmente complessi da dover essere gestiti da sofisticati programmi informatici e da personale altamente specializzato. Se un cyberterrorista riuscisse a penetrare in questi programmi, potrebbe bloccare il sistema per un certo periodo, costringendo le società di distribuzione a intervenire manualmente per far funzionare la rete, con conseguente aumento di costi e rischi.

Gli attuali impianti di generazione sono così grandi, e le macchine che li compongono così sofisticate e costose, che non è possibile costituire scorte di parti di ricambio se non per pochi pezzi. Se un componente fondamentale del sistema si rompe, spesso il ricambio deve essere ordinato e costruito appositamente, con tempi che possono raggiungere i dodici mesi. Dopo il blackout di New York del 1977, per esempio, la Consolidated Edison ordinò un ri-

cambio per un trasformatore regolatore di fase, la cui mancanza aveva avuto una parte rilevante nell'incidente. Per produrre il ricambio ci volle più di un anno. Oggi, inoltre, gran parte dei processi di generazione sono automatizzati ed estremamente sofisticati, tanto da richiedere personale altamente specializzato per le riparazioni; se ci fossero guasti simultanei in impianti di generazione sparsi per la nazione, a causa di attacchi terroristici o calamità naturali, probabilmente non ci sarebbero tecnici a sufficienza per intervenire in modo tempestivo e risolutivo.

Oleodotti e gasdotti sono fra gli elementi più vulnerabili del sistema energetico. Un rapporto stilato dal Pentagono nel 1981 attirava l'attenzione sulle possibili conseguenze del danneggiamento di una delle principali condotte a causa di un attentato terroristico. Oggi, a vent'anni di distanza, il Congresso, il Pentagono e le aziende energetiche stanno prendendo nuovamente in considerazione questo studio, temendo che la minaccia da teorica possa diventare reale.

Si consideri, per esempio, il Colonial Pipeline System, un sistema di tre oleodotti che si estende per oltre 3000 chilometri, permettendo di trasportare il petrolio dal Texas al New Jersey in dodici giorni. Il sistema è tenuto in funzione da ottantaquattro stazioni di pompaggio che consumano enormi quantità di energia elettrica per spingere il petrolio nelle condotte. Uno studio degli addetti alla sicurezza del sistema è giunto alle seguenti conclusioni:

[Il sistema] è stato costruito e viene gestito senza curarsi minimamente della sua vulnerabilità qualora alcuni individui volessero ... interferire con questo vitale movimento di energia. È esposto e completamente privo di sorveglianza in innumerevoli punti; è facilmente accessibile anche là dove non è allo scoperto, lungo la quasi totalità del suo percorso ... Tale vulnerabilità del più importante sistema di distribuzione dell'energia del paese è una minaccia per la sicurezza nazionale ... Per quanto ogni modalità di trasporto dell'energia sia, in certa misura, vulnerabile, gli oleodotti lo sono in misura particolare. Nessun altro sistema muove altrettanta energia, su così grandi distanze, in un flusso ininterrotto la cui continuità è un aspetto critico altrettanto importante.⁶⁸

Le centrali elettriche e le linee di distribuzione sono particolarmente esposte ad attentati terroristici. Trent'anni fa il Joint Committee on Defense Production del Congresso avvertiva che le grandi centrali che servono le maggiori aree metropolitane del paese «rappresentano un bersaglio particolarmente concentrato e invitante per sabotatori, terroristi e altri aggressori». E non si tratta di una minaccia puramente ipotetica: gli attentati a impianti di generazione sono la norma nelle attività di guerriglia! e terroristi in paesi come l'Afghanistan, El Salvador e Cipro, ma anche in nazioni del G7, come la Gran Bretagna e l'Italia.TM

Dall'11 settembre, i funzionari governativi responsabili della sicurezza interna degli Stati Uniti hanno cominciato a temere per la sicurezza all'interno e nei dintorni delle centrali nucleari; le torri di raffreddamento, le strutture di contenimento e le altre costruzioni sono state progettate molti anni fa, prevedendo che potessero resistere all'impatto di un piccolo aereo da turismo senza subire danni rilevanti. Nessuno sa cosa accadrebbe se una di queste centrali venisse investita da un jumbo jet 747 dirottato da un gruppo terroristico. Ci si preoccupa anche dell'evenienza che possano essere prese di mira le scorie radioattive conservate, con scarse misure protettive, presso gli impianti stessi. Una fuga consistente di radioattività da una centrale nucleare potrebbe provocare, sul lungo periodo, fino a 60.000 morti per malattie degenerative, 60.000 difetti genetici alla nascita, 450.000 tumori maligni alla tiroide e la contaminazione di quasi 14.000 chilometri quadrati di territorio, con danni patrimoniali di miliardi di dollari per molti anni.

Anche la rete di distribuzione dell'elettricità rappresenta un allettante bersaglio per i terroristi. Quarant'anni fa la Defense Electric Power Administration avvertiva che

è estremamente difficile proteggere le principali linee elettriche da sabotaggi, giacché sono diffuse in ogni Stato e il loro percorso attraversa migliaia di chilometri di aree remote, selvagge e disabi-

Lite. Per quanto queste strutture siano periodicamente pattugliate, un sabotatore dispone comunque del tempo sufficiente per operare indisturbato.

I funzionari del governo americano, soprattutto al Pentagono, al Department of Energy e al Department of the Interior, sono ben consapevoli di questa vulnerabilità, ma non sanno cosa si possa fare, se non creare un regime energetico alternativo, con una propria rete di distribuzione completamente separata da quella attuale. In attesa che prenda forma questa nuova concezione energetica, resteremo esposti per anni alla minaccia del terrorismo. Un esponente del Department of the Interior ha sintetizzato l'enormità del problema con queste parole: «Un gruppo relativamente ristretto di individui decisi e competenti... potrebbe far crollare [la rete elettrica che rifornisce] quasi tutte le regioni del paese».

Oggi la nostra civiltà fondata sui combustibili fossili è esposta su tali e tanti fronti da far temere a molti osservatori che un collasso del sistema non sia più totalmente inconcepibile. Il picco della produzione globale di greggio è atteso entro i prossimi vent'anni - ma, secondo alcuni geologi, arriverà molto prima - e il gas naturale subirà la medesima sorte subito dopo. Il Medio Oriente, che detiene la maggior parte delle rimanenti riserve di petrolio e gas naturale sta diventando sempre più instabile politicamente a causa del conflitto fra giovani militanti fondamentalisti e governi autocratici e dittatoriali. Il terrorismo islamico continua a rappresentare una seria minaccia per la sicurezza interna degli Stati Uniti e degli altri paesi del G7, facendo lievitare i costi militari che occorre pagare per assicurare la continuità del flusso, sempre più scarso, di petrolio e gas naturale dal Golfo Persico. Nel frattempo, nella prospettiva di un calo dell'offerta di greggio convenzionale a buon mercato e di un forte aumento del prezzo del petrolio sui mercati internazionali, le società energetiche stanno cominciando a rivolgersi al carbone e, simultaneamente, alle riserve mai precedentemente sfruttate di

sabbie bituminose e greggio pesante, nella speranza di produrre combustibili sintetici in quantità sufficiente a colmare il crescente deficit nella produzione di greggio convenzionale e gas naturale. Il passaggio a combustibili più sporchi, però, comporterà probabilmente un aumento delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera, esacerbando ulteriormente il problema del riscaldamento del pianeta nel corso del ventunesimo secolo.

Stiamo attraversando la fase di obsolescenza di un regime energetico maturo, con tutti i problemi che questo comporta. Le scorte di energia sono in via di esaurimento mentre il saldo entropico continua a lievitare. La gigante infrastruttura che abbiamo creato per sfruttare il petrolio invecchiando ed è sempre più soggetta a rotture e guasti. Stiamo pagando un prezzo in costante aumento per mantenerla in efficienza, ricevendone in cambio benefici ogni giorno più esigui. Nello stesso tempo, tutte le istituzioni economiche e sociali legate al regime dei combustibili fossili sono minacciate: la nostra agricoltura fondata sulla petrochimica, che supporta una popolazione in crescita non dedicata alla produzione alimentare e lo stile di vita urbanizzato di oltre metà della popolazione mondiale, è particolarmente vulnerabile e sarà, probabilmente, una delle prime vittime del picco della produzione petrolifera globale. Riserve sempre più scarse e prezzi sempre più elevati potrebbero generare un collasso della produzione agricola in tutto il mondo e, di conseguenza, quello dell'industria, dei servizi, dell'informazione e dell'esperienza che si fondano su di essa.

L'impoverimento delle riserve energetiche potrebbe avere come risvolto, fra pochi anni, l'intensificarsi dei blackout elettrici, con effetti potenzialmente devastanti sul nostro stile di vita. La perdita di affidabilità della rete elettrica determinerebbe inevitabilmente una parziale migrazione dalle aree metropolitane, diventate inabitabili, verso le regioni rurali.

Molti scettici potranno anche affermare di aver già sentito tutto questo. I catastrofisti hanno gridato «al lupo» ne-

gli anni Settanta e nei primi anni Ottanta, prevedendo che il mondo avrebbe presto esaurito il petrolio. Ebbene, queste profezie si sono rivelate sbagliate. Perché le stesse profezie dovrebbero oggi rivelarsi corrette? Si tratta di un'argomentazione solida. Forse non è vero che in un prossimo futuro esauriremo il petrolio convenzionale a buon mercato, e anche le previsioni di un aumento delle temperature sul nostro pianeta potrebbero essere errate. L'ondata di fondamentalismo islamico e la prospettiva di un inasprimento delle azioni terroristiche contro gli Stati Uniti e le altre nazioni ricche, incluse quelle del Medio Oriente, potrebbero essere fenomeni sopravvalutati e, quand'anche non lo fossero, potrebbero essere rapidamente sconfitti. La complessa infrastruttura energetica e le parallele infrastrutture economiche sempre più centralizzate potrebbero non essere così vulnerabili a minacce esterne e interne come taluni suggeriscono.

In questo dibattito, entrambe le posizioni possono vantare argomentazioni valide. Eppure, rilievi oggettivi e statistici sempre più numerosi sembrano dar ragione a chi afferma che il regime energetico fondato sul petrolio si stia rapidamente avvicinando al tramonto. È difficile ignorare i segnali di ritorni marginali ormai negativi in ogni settore, di un saldo entropico inesorabilmente in crescita, di un'infrastruttura posta sempre più sotto pressione e di un sistema che, nel complesso, è vieppiù esposto a guasti e malfunzionamenti di ogni genere.

Forse la prova più schiacciante che ci stiamo avvicinando agli ultimi decenni dell'era del petrolio è quella fornita dall'analisi statistica degli alti e bassi del consumo energetico pro capite a livello globale. Diversi scienziati, fra cui Robert Romer, John Gibbons e Richard Duncan, oltre alla BP Amoco, hanno tracciato la curva a campana della produzione di energia pro capite a livello globale. Queste analisi, condotte separatamente, presentano risultati analoghi e forniscono la prova irrefutabile che l'età del petrolio sta volgendo al termine con la stessa rapidità con cui è nata e cresciuta.

Richard Duncan ha tratteggiato i risultati delle sue ricerche nella prolusione al summit della Geological Society of America del 2000: fra il 1920 e il 1945 la produzione energetica pro capite è aumentata al moderato tasso annuo dello 0,69%; fra il 1945 e il 1973, più rapidamente (3,45%); fra il 1973 e il 1979 è rallentata (0,64%); nel 1979 ha raggiunto il picco: 11,15 boe (*barrels of oil equivalent*); e, dal 1979 al 1999, è diminuita dello 0,33%. Questo è accaduto perché, anche se in quest'ultimo periodo la produzione totale è aumentata mediamente dell'1,34% l'anno, ancor più elevato è stato il tasso di crescita della popolazione mondiale. Secondo BP Amoco, la produzione mondiale di petrolio pro capite ha raggiunto il picco nel 1979 e, da allora, ogni anno si è registrato un costante declino. Questo perché, anche se la produzione è sempre aumentata, ancor più rapido è stato l'incremento demografico.

Neppure i più ottimisti possono spiegare perché la produzione pro capite di petrolio sia calata, né si profila all'orizzonte uno scenario in cui il petrolio - o il gas naturale, il carbone, il greggio pesante, le sabbie bituminose o l'energia nucleare - possano invertire la tendenza e fornire sufficiente energia pro capite da riportare una popolazione mondiale in aumento al picco raggiunto nel 1979. In termini di energia pro capite, la specie umana si sta inesorabilmente muovendo lungo la parte decrescente della curva a campana dell'era del petrolio. Se questa è la realtà, la domanda più importante alla quale l'uomo deve rispondere, in questo momento, è se si possa creare un nuovo regime energetico abbastanza in fretta da poter sostituire senza traumi i combustibili fossili e soddisfare nel prossimo secolo il fabbisogno di una popolazione terrestre in crescita.

VIII

L'avvento dell'economia dell'idrogeno

Nel 1874 Jules Verne, celebre scrittore di libri di fantascienza, pubblicò un curioso romanzo, *L'isola misteriosa*. Il libro narra le avventure di cinque nordisti che, durante la guerra civile americana, fuggono da un campo di prigionia sudista a bordo di un pallone aerostatico. Spinti fuori rotta da una tempesta, atterrano su una piccola isola, dopo un viaggio di 7000 miglia; un giorno, mentre cercano di immaginare il futuro dell'Unione, uno dei membri del gruppo, un marinaio di nome Pencroff, domanda all'ingegnere, Cyrus Smith, cosa potrebbe accadere al commercio e all'industria americane, se finisse il carbone. «Che cosa si brucerà al posto del carbone?» domanda Pencroff. «L'acqua» risponde Cyrus Smith, sorprendendo tutti. E prosegue, spiegando:

L'acqua scomposta nei suoi elementi costitutivi ... e scomposta, senza dubbio, dall'elettricità che sarà diventata allora una forza potente e maneggevole ... Sì, amici, io credo che l'acqua sarà un giorno impiegata come combustibile, che l'idrogeno e l'ossigeno di cui è costituita, utilizzati isolatamente o simultaneamente, offriranno una sorgente di calore e di luce inesauribili e di un'intensità che il carbon fossile non può dare ... L'acqua è il carbone dell'avvenire.

Centoventisette anni dopo l'accenno di Verne a un futuro in cui tutto il fabbisogno energetico dell'umanità sarebbe stato soddisfatto dall'idrogeno contenuto nell'acqua, Phil Watts, presidente della Royal Dutch Shell, ha pronunciato un discorso sul futuro dell'energia in un convegno sponsorizzato dal Development Program delle Nazioni Unite e tenutosi a New York a sole due settimane di

distanza dall'attentato alle Torri gemelle, con l'acre odore del fumo tossico di *Ground Zero* che ancora aleggiava nell'aria di Manhattan. Watts ha informato l'uditorio che la Shell si stava preparando per la «fine dell'era degli idrocarburi». Nel ventunesimo secolo, ha affermato, carbone, petrolio e gas naturale - i grandi combustibili fossili che hanno impresso al mondo la spinta per entrare nell'era industriale - lasceranno il posto a un nuovo, rivoluzionario regime energetico, basato sull'idrogeno. La Shell ha già destinato un miliardo di dollari per finanziare la transizione all'economia delle risorse rinnovabili.

La visione di Verne di un futuro basato sull'idrogeno è diventata, oggi, l'oggetto di una spasmodica attenzione da parte dei vertici delle maggiori società energetiche del mondo, delle case automobilistiche, delle aziende di servizi di pubblica utilità, oltre che dei politici e di un numero crescente di organizzazioni non governative, tanto nelle nazioni industriali quanto nel Terzo Mondo.

Decarbonizzazione 3

L'idrogeno è il più abbondante degli elementi chimici dell'universo: costituisce il 75% della sua massa e il 90% delle sue molecole. Riuscire a sfruttarlo efficacemente come fonte d'energia potrebbe significare per l'umanità una sorgente energetica virtualmente illimitata, quella sorta di elisir che per secoli alchimisti e chimici hanno cercato inutilmente. In un certo senso, la premonizione di Jules Verne di un futuro basato sull'idrogeno stava già assumendo contorni più precisi nell'ultimo quarto dell'Ottocento. In meno di un secolo, la legna aveva ceduto il passo al carbone, e quest'ultimo cominciava a essere rimpiazzato da una nuova presenza, il petrolio. Già allora era in atto la «decarbonizzazione» dell'energia, che avrebbe condotto inevitabilmente a un futuro basato sull'idrogeno.

«Decarbonizzazione» è il termine usato dagli scienziati per riferirsi al cambiamento del rapporto carbonio-idroge-

no nell'avvicinarsi delle diverse fonti di energia. La legna, fonte primaria d'energia per la maggior parte della storia dell'uomo, ha il rapporto carbonio-idrogeno più alto, con dieci atomi di carbonio per ogni atomo di idrogeno. Fra i combustibili fossili, il carbone ha il rapporto carbonio-idrogeno più elevato, con un valore di 2 a 1; il petrolio ha un atomo di carbonio per due di idrogeno, mentre il gas naturale ne ha solo uno su quattro. Questo significa che ogni nuova fonte d'energia emette meno anidride carbonica della precedente. Nebojsa Nakicenovic, dell'International Institute for Applied Systems Analysis di Vienna, stima che negli ultimi centoquarant'anni l'emissione di carbonio per unità di energia primaria consumata globalmente abbia continuato a diminuire di circa lo 0,3% l'anno.

Naturalmente, nello stesso periodo, a causa della quantità di carbone e di petrolio bruciati, le emissioni di CO₂ sono continuamente aumentate, con conseguente incremento della temperatura dell'atmosfera terrestre. Il passaggio da carbone e petrolio al gas naturale promette di ridurre ulteriormente la quantità di emissioni di CO₂ per unità di energia consumata, ma all'accrescimento del volume di gas naturale utilizzato corrisponderà l'aumento della quantità totale di emissioni e, quindi, delle temperature, anche se in misura inferiore a quanto avverrebbe se ci affidassimo ancora principalmente al carbone o al petrolio. Jesse H. Ausubel, ricercatore presso la Rockefeller University di New York, riassume il significato storico dell'iter energetico del mondo con queste parole:

Il fatto più importante, positivo e sorprendente che emerge dagli studi sull'energia è che negli ultimi duecento anni il mondo ha progressivamente favorito gli atomi di idrogeno rispetto a quelli di carbonio ... la tendenza alla «decarbonizzazione» è l'elemento decisivo per comprendere l'evoluzione del sistema energetico.

L'idrogeno rappresenterebbe il compimento del percorso di decarbonizzazione, dato che non contiene alcun atomo di carbonio. Il suo emergere come fonte primaria d'energia del futuro è un indizio della fine del lungo dominio

dell'energia basata sugli idrocarburi nella storia dell'umanità. L'idrogeno, fonte dell'energia del sole - la cui massa è costituita per circa il 30% da questo elemento -, suscita aspettative sempre più diffuse circa i futuri progressi dell'uomo sulla terra. È la forma più leggera e immateriale di energia, e la più efficiente nella combustione.

La costante evoluzione dal pesante al leggero, e dal materiale all'immateriale, nelle nostre fonti d'energia trova un parallelo, a ogni progressivo passaggio, nella sempre più evidente «leggerezza» dell'attività industriale: dalla nascita delle pesanti tecnologie legate al vapore, nei primi decenni del capitalismo industriale, all'«immaterialità» e virtualità delle tecnologie informatiche del ventunesimo secolo. In realtà, la smaterializzazione dell'energia e quella dell'attività economica procedono di pari passo. Decarbonizzazione ha significato non solo una progressiva eliminazione degli atomi di carbonio, ma anche la smaterializzazione dei combustibili, passati dallo stato solido (come il carbone) a quello liquido (petrolio) e, ora, a quello gassoso (gas naturale e idrogeno). Il passaggio di stato dell'energia, da solido a liquido a gassoso, ne ha reso più rapido ed efficiente il flusso nel sistema - negli oleodotti il petrolio viaggia più rapidamente del carbone sui carri ferroviari, e il gas naturale viaggia più rapidamente del petrolio - e fatto fiorire tecnologia, beni e servizi che, analogamente, tendono alla velocità, all'efficienza, alla leggerezza e alla virtualità.

Nell'aprile del 2001, di fronte allo Science Committee della Camera dei deputati degli Stati Uniti, Frank Ingri-selli, manager della Texaco, tracciò un collegamento fra i grandi cambiamenti in corso sia nell'economia globale sia nella società e l'avvento dell'era dell'idrogeno, osservando che «il movimento ambientalista, l'innovazione e le forze del mercato stanno modellando il futuro del nostro settore, spingendoci inevitabilmente verso l'energia dell'idrogeno», e avvertendo che «chi non seguirà questa tendenza, sarà destinato a pentirsene».

Sulla terra, l'idrogeno è ubiquo: si trova nell'acqua, nei

combustibili fossili e in tutte le creature viventi. L'idrogeno presente nell'acqua e in forma organica costituisce il 70% della superficie terrestre. Ma, come vedremo presto, raramente si trova in natura in forma pura e libera, come accade invece con il carbone, il petrolio o il gas naturale. L'idrogeno è un veicolo di energia, una forma secondaria che deve essere prodotta, come l'elettricità.

L'elisir energetico

L'idrogeno venne scoperto dallo scienziato inglese Henry Cavendish. In un intervento alla Royal Society di Londra, nel 1776, riferì di un esperimento in cui era riuscito a produrre acqua combinando ossigeno e idrogeno con l'aiuto di una scarica elettrica; dato che i due elementi non avevano ancora un nome, aveva battezzato «aria vitale» il primo e «aria infiammabile» il secondo. Nel 1785 il chimico francese Antoine-Laurent Lavoisier ripeté con successo l'esperimento di Cavendish e battezzò definitivamente l'«aria vitale» ossigeno e l'«aria infiammabile» idrogeno.

Il primo utilizzo pratico dell'idrogeno fu militare, fatto tutt'altro che stupefacente. Nel 1789 un chimico francese, Guyton de Norveau, che era anche membro del Comitato di salute pubblica, una delle fazioni in lotta nel burrascoso periodo che seguì la presa della Bastiglia, suggerì che il gas di idrogeno potesse essere prodotto in grandi quantità e utilizzato allo scopo di sollevare da terra palloni aerostatici per la ricognizione. Il primo generatore di idrogeno venne costruito nel 1794, in un campo militare alle porte di Parigi.

La produzione industriale di idrogeno cominciò negli anni Venti del Novecento, in Europa e in Nordamerica. La strada fu aperta dalla canadese Electrolyser Corporation Limited. Fu questa azienda, che nei suoi primi anni di attività si chiamava Stuart Oxygen Company, a produrre e vendere i primi elettrolizzatori commerciali a una società di San Francisco, nel 1920. Gli elettrolizzatori sono macchine che scompongono l'acqua in idrogeno e ossigeno.

Oggi, la Electrolyser Corporation è una delle più grandi aziende produttrici di impianti elettrolitici per la produzione di idrogeno che esistano al mondo.

Il primo scienziato a comprendere il reale potenziale dell'idrogeno fu John Burden Sanderson Haldane, che in seguito si dedicò ad altre discipline e divenne uno dei più celebri genetisti del Novecento. Nel 1923, poco più che ventenne, Haldane tenne una lezione alla Cambridge University in cui predisse che l'energia tratta dall'idrogeno sarebbe stata il combustibile del futuro. Da qui procedette per delineare, in un saggio scientifico, la tesi a favore dell'idrogeno e le modalità con cui sarebbe stato possibile produrlo, immagazzinarlo e sfruttarlo. Le sue intuizioni erano, all'epoca, così rivoluzionarie da sollevare l'incredulità dei suoi colleghi della Royal Academy, eppure tracciavano, in ogni particolare, la strada che sarebbe stata seguita per dominare e sfruttare l'idrogeno.

Haldane partiva da una vigorosa difesa della superiorità dell'idrogeno su ogni altra forma di energia. Scriveva che «l'idrogeno liquido, a parità di peso, è il più efficiente fra i metodi conosciuti di conservazione dell'energia, dal momento che genera il triplo delle calorie rispetto al petrolio». Affrontava poi la questione di come dovesse essere prodotto e prevedeva che, entro quattro secoli, il fabbisogno energetico della Gran Bretagna sarebbe stato soddisfatto da

schiere di mulini a vento metallici collegati a generatori elettrici che, ruotando, forniranno corrente ad alta tensione a giganteschi elettrodotti. A una distanza adeguata ci saranno grandi centrali di generazione in cui, nelle giornate ventose, la potenza in eccesso verrà utilizzata per la scomposizione elettrolitica dell'acqua in ossigeno e idrogeno. Questi gas saranno liquefatti e immagazzinati in serbatoi in camere a vuoto, probabilmente interrati ... Nei periodi di calma di vento, i gas saranno ricombinati in motori a scoppio collegati a diriami che produrranno nuova energia elettrica o, più probabilmente, a celle di ossidazione. Questi immensi depositi di gas liquefatti permetteranno di immagazzinare l'energia eolica, in modo da poterla utilizzare per l'industria, i trasporti, il riscaldamento o l'illuminazione, secondo necessità.¹⁴

Haldane giunse perfino ad anticipare gli enormi ostacoli che si sarebbero frapposti alla transizione verso un regime energetico fondato sull'idrogeno, oltre che le conseguenze di tale transizione in termini sociali e ambientali. Sul primo fronte, Haldane riconosceva che «gli investimenti iniziali saranno considerevoli, ma i costi operativi decisamente inferiori a quelli del sistema attuale». Il grande vantaggio sociale dell'adozione dell'idrogeno come base del regime energetico sarebbe stato che «l'energia avrà lo stesso costo in ogni angolo del paese, permettendo una grande decentralizzazione dell'industria». Secondo Haldane, i benefici ambientali sarebbero stati altrettanto importanti, dato che «non si produrranno fumi o ceneri».

L'idrogeno fu sfruttato per la prima volta come carburante nell'aviazione, a cavallo fra gli anni Venti e Trenta. I tecnici tedeschi lo utilizzavano come carburante ausiliario per gli Zeppelin - i dirigibili tedeschi impiegati per il trasporto passeggeri attraverso l'Atlantico -, il cui carburante primario era una miscela di benzene e benzina. I motori erano modificati in modo che le normali fuoruscite di idrogeno, provocate per regolare la quota di «galleggiamento» del dirigibile, potessero essere sfruttate come carburante. Già negli anni Trenta e Quaranta, l'idrogeno era impiegato in Germania e in Inghilterra come carburante sperimentale per automobili, autocarri, locomotive, e perfino sommergibili e siluri. ¹⁸

Oggi, la produzione mondiale di idrogeno è di 400 miliardi di metri cubi, pari a circa il 10% della produzione mondiale di petrolio del 1999. Gran parte di questo idrogeno viene impiegata come materia prima chimica per la produzione di fertilizzanti a base ammoniacale e per l'idrogenazione di oli organici commestibili ricavati da soia, pesce, arachidi¹⁹ e mais. L'idrogeno è anche utilizzato per convertire l'olio in margarina, nei processi di produzione del polipropilene, negli scambiatori di calore e nei generatori di freddo.

L'idrogeno trova dunque impiego come base e materia

prima in numerosi processi per la fabbricazione dei prodotti più disparati, ma il suo valore come combustibile è stato largamente ignorato nel secondo dopoguerra, malgrado i primi successi sperimentali negli anni Venti e Trenta nell'aviazione e nel trasporto automobilistico. Fu soltanto dopo la prima crisi petrolifera del 1973 che scienziati, tecnici e politici decisero di riprendere in considerazione l'idrogeno come fonte d'energia nel senso più ampio del termine. In quell'anno, a Miami Beach si tenne la prima Conferenza internazionale sull'idrogeno, e vennero fondati l'International Association for Hydrogen Energy e una rivista mensile, l'«International Journal of Hydrogen Energy». Un ristretto gruppo di entusiasti, che si battezzò «Hydrogen Romantic», cominciò un'attività di proselitismo nell'ambito dell'industria energetica, sperando di conquistare adesioni alla causa dell'idrogeno. T. Nejat Veziroglu, presidente dell'associazione e membro del gruppo, sintetizzò così l'entusiasmo dell'epoca: «[L'idrogeno] è la soluzione definitiva al depauperamento dei combustibili convenzionali, [e una] soluzione definitiva del problema ambientale a livello globale».

Negli anni seguenti, i governi degli Stati Uniti e di altri paesi cominciarono a destinare modesti stanziamenti alla ricerca sull'idrogeno. Il programma americano non ebbe mai a disposizione fondi superiori ai 24 milioni di dollari, mentre negli anni Settanta la Comunità economica europea spese per le ricerche in questo campo fra i 72 e gli 84 milioni di dollari. Negli anni Ottanta, con la soluzione della crisi energetica e la caduta del prezzo del petrolio sui mercati mondiali, il finanziamento pubblico della ricerca sull'idrogeno scemò considerevolmente.

Una ripresa d'interesse si ebbe negli anni Novanta, dopo la pubblicazione di allarmanti studi e rapporti sugli effetti, in termini di riscaldamento del clima terrestre, delle crescenti emissioni di CO₂ nell'atmosfera, dovute al massiccio ricorso ai combustibili fossili, con la conseguente minaccia per l'intera biosfera terrestre. Un sempre maggior numero

di scienziati cominciò a ventilare l'ipotesi che la transizione dagli idrocarburi all'idrogeno fosse un modo per risolvere il problema del surriscaldamento atmosferico: per molti geologi, climatologi e ambientalisti, «decarbonizzazione» divenne la parola d'ordine. Nel frattempo, ricerche sperimentali - in ambito sia accademico che aziendale - cominciarono a gettare le fondamenta di un futuro energetico basato sull'idrogeno.

Nel 1988 l'Unione Sovietica riuscì a convertire a idrogeno liquido un velivolo per il trasporto passeggeri; nello stesso anno un americano, William Conrad, fu il primo a far volare un aereo alimentato esclusivamente a idrogeno liquido. Nel 1992, in Germania, il Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems creò la prima casa solare che utilizzava idrogeno per l'immagazzinamento dell'energia a lungo termine. L'anno seguente, il Giappone destinò 2 miliardi di dollari a un piano trentennale per la promozione dell'idrogeno come fonte d'energia a livello mondiale. Nel 1994, a Geel, in Belgio, furono messi in circolazione i primi autobus urbani alimentati a idrogeno; un anno dopo, la Chicago Transit Authority cominciò a eseguire test su propri autobus a idrogeno. Il Royal Dutch/Shell Group avviò le prime sperimentazioni sull'idrogeno nel 1998, istituendo un «Hydrogen Team» per esplorare le opportunità offerte dalla nuova fonte d'energia, e soltanto un anno dopo costituì un'apposita divisione aziendale.

Queste tappe fondamentali, insieme a molte altre di minor importanza nel corso dell'ultimo secolo, hanno contribuito a far crescere l'attenzione intorno all'idrogeno. Tuttavia fu solo nel 1999 che si capì fino in fondo il potenziale impatto di questa nuova fonte energetica: nel febbraio di quell'anno, infatti, l'Islanda annunciò un ambizioso piano a lungo termine volto a trasformare la propria economia nella prima al mondo fondata sull'idrogeno.

La realizzazione del programma è stata affidata a una joint-venture fra tre società transnazionali (Royal Dutch/Shell, Daimler-Chrysler e Norsk Hydro) e sei partecipanti

islandesi (Reykjanes Geothermal Power Plant, Reykjavik Municipal Power Company, una società produttrice di fertilizzanti, University of Iceland, Iceland Research Institute e New Business Venture Fund). I partecipanti islandesi controllano il 51,01% della partnership, battezzata «Iceland New Energy».

Thorstein Sigfusson, docente di fisica all'università di Reykjavik e presidente dell'Iceland New Energy, afferma che l'obiettivo del consorzio è giungere nell'arco di vent'anni a una completa gestione dell'economia islandese con l'idrogeno, eliminando quasi completamente i combustibili fossili. La prima fase del piano prevede la conversione a idrogeno del parco nazionale di automobili, autocarri e autobus, immediatamente seguita dall'adozione dell'idrogeno per generare calore, luce ed energia elettrica²⁴ per fabbriche, uffici e abitazioni. L'Islanda è già nota come «il Bahrein del Nord», e già si parla del suo primato nella produzione di idrogeno e nell'esportazione verso l'Europa.

Un progetto analogo è in corso anche alle Hawaii. Questo Stato, che per soddisfare il proprio fabbisogno energetico dipende dalle importazioni e si rifornisce di petrolio prevalentemente in Alaska e in Asia, conta di diventare autosufficiente sfruttando l'energia geotermica e solare, di cui dispone in abbondanza, e convertendola in idrogeno. Nell'aprile del 2001 il Parlamento ha approvato un modesto stanziamento per contribuire a creare una partnership mista, pubblica e privata, per lo sfruttamento dell'idrogeno come fonte d'energia. L'University of Hawaii ha ricevuto un finanziamento di 2 miliardi di dollari dall'US Department of Defense a sostegno del piano di sviluppo dell'idrogeno. Hermina Morita, il deputato che presiede la commissione legislativa per la riduzione della dipendenza delle Hawaii dal petrolio, afferma che obiettivo²⁵ a lungo termine dell'amministrazione è «essere in grado di produrre idrogeno in quantità superiore al fabbisogno locale, in modo da poter vendere il surplus alla California».

Vale la pena ricordare che fu la General Motors, la più

grande casa automobilistica del mondo, a coniare la locuzione «economia dell'idrogeno». Era il 1970, e i tecnici GM cominciavano a pensare all'idrogeno come possibile combustibile del futuro. A distanza di trent'anni, nel maggio del 2000, dopo che molti sforzi pionieristici hanno contribuito a dimostrare l'effettiva possibilità di un futuro basato sull'idrogeno, Robert Purcell, direttore generale dell'Advanced Technology Vehicles della GM,⁷ parlando all'assemblea annuale della National Petrochemical and Refiners Association ha dichiarato che «il nostro scenario a lungo termine è un'economia dell'idrogeno».

Produrre energia con l'idrogeno

Come detto, l'idrogeno si trova praticamente ovunque in natura, ma raramente allo stato nativo. È presente soprattutto nell'acqua, nei combustibili fossili e in tutti gli organismi viventi, da cui deve venir estratto per essere utilizzato come forma d'energia.

Ci sono diversi modi per produrlo. Oggi, circa la metà dell'idrogeno prodotto nel mondo è estratto dal gas naturale attraverso un processo di *steam reforming*, in cui il metano reagisce con il vapore in un convertitore catalitico. Il processo libera atomi di idrogeno e ha come sottoprodotto anidride carbonica. Anche il carbone, dopo la gassificazione, può essere convertito al fine di produrre idrogeno, ma a costi più elevati rispetto al gas naturale. Altre tecniche produttive prevedono il ricorso ad altri idrocarburi e a biomasse gassificate.

Benché lo *steam reforming* del gas naturale si sia rivelato, a tutt'oggi, il metodo economicamente più vantaggioso per la produzione industriale dell'idrogeno, il metano è un idrocarburo e quindi il processo di conversione genera emissioni di CO₂. I fautori di questo processo produttivo affermano che in futuro sarà possibile isolare e rimuovere l'anidride carbonica generata nella conversione e immagazzinarla in siti sotterranei, come i giacimenti esauriti di petrolio, di me-

tano o di carbone, pur riconoscendo che questo non farebbe che aumentare i costi di produzione, già piuttosto elevati. La praticabilità delle tecnologie di rimozione selettiva è ancora dubbia, e anche i suoi stessi sostenitori affermano che, nella migliore delle ipotesi, le prime applicazioni industriali sono previste fra una decina d'anni.

La maggior parte degli analisti del settore sono convinti che nel prossimo futuro saranno il gas naturale e, in misura minore, altri combustibili fossili la fonte primaria di idrogeno. Queste valutazioni, però, si fondano sull'arrischiata ipotesi che vi sia una disponibilità sufficiente di gas naturale in grado di soddisfare non solo la crescente domanda di idrogeno, ma anche quella proveniente dal settore della produzione di energia elettrica, che, almeno negli Stati Uniti, sta per rendere operativa una nuova generazione di centrali alimentate a metano, dalle quali ci si aspetta la copertura della quota più rilevante della domanda per i prossimi decenni. Se, però, il picco della produzione globale di gas naturale si verificasse nel 2020, come alcuni geologi prevedono, occorrerà trovare nuovi modi per produrre idrogeno. Perfino l'Energy Power Research Institute (EPRI), l'istituto di ricerca finanziato dall'American Utilities Industry, in un documento interno dichiara che potrebbe rivelarsi impossibile estrarre gas naturale a sufficienza, e a prezzi competitivi, per sostenere i previsti aumenti di generazione elettrica, anche senza tener conto della possibile, significativa crescita della domanda di metano per la produzione di idrogeno. Il documento dell'EPRI prevede che nei prossimi vent'anni la generazione elettrica a metano aumenterà fra il 15 e il 60%, con l'introduzione di centinaia di nuove centrali alimentate a gas naturale. Nonostante le società elettriche siano già massicciamente impegnate nella costruzione di centrali a metano, Gordon Hester, dell'EPRI, afferma che, sulla base dei suoi studi, «affidarsi per un prolungato periodo al gas naturale per la generazione elettrica potrebbe rivelarsi non sostenibile, a livelli così elevati».²⁹ Secondo questo istituto, la crescente domanda di elettricità provo-

cherà probabilmente un aumento del prezzo del gas naturale, incentivando la transizione a combustibili meno costosi e con emissioni più contenute, cosicché il ricorso al gas naturale per la generazione elettrica dovrebbe diminuire in maniera significativa a partire dal 2025.

Se, fra vent'anni, il gas naturale rischia di non essere disponibile in misura sufficiente a soddisfare la domanda di elettricità, puntare su di esso per la produzione di idrogeno potrebbe essere insensato. Esiste, però, almeno un modo per produrre idrogeno senza ricorrere a idrocarburi: l'elettrolisi, che, come detto in precedenza, utilizza l'elettricità per scindere le molecole d'acqua in atomi di idrogeno e ossigeno. Il processo è noto da oltre un secolo: due elettrodi, uno positivo e uno negativo, vengono immersi in acqua resa più conduttiva dall'aggiunta di un elettrolito; il passaggio dell'elettricità - a corrente continua - richiama gli atomi di idrogeno verso l'elettrodo a carica negativa (catodo) e gli atomi di ossigeno verso l'elettrodo a carica positiva (anodo).

Impianti elettrolitici industriali esistono in molti paesi. Come attrezzature sono sufficienti un serbatoio, un trasformatore per convertire la corrente alternata in continua, condotte per aspirare l'idrogeno e l'ossigeno dalla cella elettrolitica e quanto necessario per asciugare il gas dopo la separazione dall'elettrolito.

L'elettrolisi non è diffusamente utilizzata - solo il 4% dell'idrogeno prodotto annualmente deriva da processi elettrolitici - a causa del costo dell'elettricità utilizzata, che lo rende non competitivo con i processi di *reforming* del gas naturale. L'elettricità ha un costo fino a tre o quattro volte superiore a quello del metano impiegato per lo *steam reforming*. Quest'ultimo punto va sottolineato perché alcuni sono stati indotti a credere che il processo elettrolitico sia in sé inefficiente e antieconomico, mentre in realtà è il costo della generazione elettrica nelle grandi centrali a renderlo così poco conveniente. L'Institute of Gas Technology riferisce che «la maggior parte degli elettrolizzatori industriali

oggi disponibili ha un'efficienza elettricità-idrogeno superiore al 75%, e richiede un investimento in conto capitale di gran lunga inferiore a quello delle centrali di generazione che sarebbero necessarie per alimentarli».

La vera domanda, dunque, è se sia possibile impiegare forme d'energia rinnovabili e non appartenenti alla famiglia degli idrocarburi - come quelle fotovoltaica, eolica, idroelettrica e geotermica - per generare l'elettricità utilizzata nel processo elettrolitico che scinde l'acqua in idrogeno e ossigeno. Un numero crescente di esperti di energia afferma che è possibile, a condizione che il costo di sfruttamento delle energie rinnovabili diminuisca considerevolmente, rendendo il processo competitivo rispetto a quello di *steam reforming* del gas naturale. Seth Dunn, del Worldwatch Institute, sottolinea il fatto che «il costo degli elettrolizzatori basati su cellule fotovoltaiche e impianti eolici di generazione è ancora elevato, [ma] si prevede che si dimezzi entro i prossimi dieci anni». Se la produzione di gas naturale raggiungesse il picco, facendo lievitare drasticamente i prezzi, si potrebbe giungere al punto in cui utilizzare fonti rinnovabili di energia per produrre l'elettricità necessaria al processo elettrolitico diventerebbe conveniente.

Sfruttare l'energia solare e trasformarla in energia utile è da tempo il sogno di molti scienziati. La quantità di energia potenzialmente disponibile che deriva dalla radiazione solare è davvero stupefacente. John Houghton afferma che «in quaranta minuti il sole effonde tanta energia sulla terra quanta l'intera umanità ne consuma in un anno». Solo cent'anni fa, l'idea di catturare l'energia del sole era considerata follia, oggi non più. Le celle fotovoltaiche (PV) usano materiali semiconduttori per convertire la luce solare in elettricità. Vengono installate in tutto il mondo e, benché siano ancora costose, lo sono progressivamente sempre meno: dagli anni Settanta a oggi, il costo delle celle solari è diminuito del 95%.

Le PV sono già diffusamente utilizzate per alimentare orologi e calcolatrici. Le navicelle spaziali sono dotate di

«pannelli solari» o di appendici coperte di PV che forniscono energia elettrica agli astronauti che operano nello spazio esterno. L'efficienza delle PV è compresa fra il 10 e il 20%, e un pannello di 1 metro quadrato di PV produce fra 100 e 200 watt di potenza. Il primo caso di sfruttamento su larga scala dell'energia solare per la generazione di elettricità risale agli anni Ottanta, quando nel deserto di Mojave, fra Las Vegas e Los Angeles, furono costruiti nove impianti fotovoltaici con specchi parabolici per catturare i raggi solari. Ancora oggi questi impianti forniscono 354 megawatt di elettricità ad abitazioni e fabbriche della regione.

Le PV hanno conquistato una crescente popolarità anche nei paesi in via di sviluppo dell'emisfero meridionale. Nell'isola di Mindanao, nelle Filippine, BP Solar, un'azienda avente una quota del 10% della produzione mondiale di PV, ha avviato un progetto da 48 milioni di dollari, che è la maggiore iniziativa legata all'energia solare nel mondo e fornirà elettricità a 400.000 abitanti di centocinquanta villaggi dell'isola, in una delle aree più povere del Pacifico. L'elettricità servirà anche sessantanove sistemi di irrigazione e novantasette impianti di depurazione dell'acqua, oltre a decine di scuole e ospedali.

L'elettricità generata dalle PV costa ancora da due a cinque volte di più di quella prodotta convenzionalmente in impianti a combustibili fossili, ma diventerà sempre più economica grazie all'innovazione tecnologica e alla realizzazione di economie di scala. Nel 1998 il costo delle PV è sceso per la prima volta sotto i 4 dollari per watt.

Il 26 settembre 1995 a San Segundo, in California, ha aperto i battenti il primo impianto statunitense a energia solare per la produzione di idrogeno, grazie agli sforzi congiunti della Xerox Corporation e di Clean Air Now (CAN), un'organizzazione ambientalista locale. L'impianto, costato 2,5 milioni di dollari, cattura la radiazione solare con un sistema fotovoltaico avanzato, progettato dalla Solar Engineering Applications Corporation, una società tecnologica californiana, e la converte in elettricità che, a sua volta, ali-

menta un elettrolizzatore prodotto dalla canadese Electrolyser Corporation. L'elettrolizzatore produce da 370 a 500 metri cubi di idrogeno al giorno; dopo la rimozione del vapore acqueo in eccesso, il gas di idrogeno viene compresso a 5000 psi (1 psi = 6890 pascal), asciugato e immagazzinato. L'idrogeno prodotto dall'impianto è utilizzato per alimentare autocarri Ford Ranger opportunamente modificati per funzionare con carburanti non derivati da idrocarburi.

Oggi, aziende come Royal Dutch/Shell e British Petroleum stanno investendo miliardi di dollari in tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare e di altre fonti energetiche rinnovabili, in previsione della necessità di abbandonare i combustibili fossili. La Shell ritiene che, entro il 2050, le fonti rinnovabili di energia, inclusa l'energia solare, copriranno più di un terzo del mercato della nuova generazione elettrica, con un fatturato globale che si aggirerebbe sui 150 miliardi di dollari. Recentemente, negli Stati Uniti, Shell ha unito le forze con Siemens per creare la quarta maggiore società di energia solare. John Browne, CEO della British Petroleum, è anche più ottimista, prevedendo che, entro quarantotto anni, il 50% del totale della domanda mondiale di energia sarà soddisfatto dall'energia solare e da altre fonti rinnovabili.

Il 2% dell'energia solare si converte naturalmente in energia eolica attraverso la circolazione atmosferica. Dal punto di vista economico, quella eolica è la forma di energia rinnovabile più efficiente. Un generatore eolico è composto da un rotore a due o tre pale con un diametro di circa 50 metri. In una zona dove la velocità media del vento è di 7,5 metri al secondo, il rotore genera circa 250 watt di potenza. Secondo l'American Wind Energy Association, il costo di un kilowattora di energia eolica è passato da circa 40 centesimi di dollaro negli anni Ottanta a meno di 5 centesimi e, in alcune regioni, a meno di 3. Il Department of Energy degli Stati Uniti afferma che, in alcune aree del paese, l'energia eolica è conveniente e tanto efficiente da essere competitiva con quella generata nelle centrali a gas naturale.⁴⁶

Se nei prossimi anni il costo dell'energia eolica scendesse al di sotto di 1,5 centesimi di dollaro per kilowattora, l'idrogeno generato elettroliticamente ricorrendo all'energia eolica sarebbe concorrenziale con la benzina.

Negli ultimi anni, la capacità di generazione eolica è cresciuta⁴⁹ a un tasso annuo medio del 27,75%. L'European Wind Association prevede che l'energia eolica possa produrre il 10% dell'elettricità consumata nel mondo entro il 2020. L'industria dell'energia eolica è uno dei segmenti del mercato mondiale in maggiore espansione. L'analista Michael Kujawa, dell'Allied Business Intelligence Inc., stima che le vendite di turbine eoliche supereranno il fatturato di 200 miliardi di dollari entro il 2010. Nel settore dell'energia eolica la leadership è europea: dei 15 gigawatt (GW) di capacità eolica attualmente disponibili al mondo, 10 sono installati in Europa. In Danimarca,⁵⁰ oggi, il vento fornisce il 14% dell'elettricità generata nel paese. In alcune regioni settentrionali della Germania, l'energia eolica assicura il 15% della produzione di elettricità. I forti venti che battono la costa occidentale della Gran Bretagna lasciano ritenere che in futuro una considerevole quota del fabbisogno energetico sarà soddisfatta dalla generazione eolica: alcuni prevedono che presto questa quota potrà arrivare al 10%. Uno studio condotto da Germanischer Lloyd e Garrad Hassan stima che il potenziale di generazione eolica lungo le coste del Baltico e del Mare del Nord sia sufficiente per far fronte alle necessità energetiche dell'intera Europa continentale.

Anche i paesi in via di sviluppo stanno espandendo la propria capacità di generazione eolica: l'India è uno dei cinque maggiori produttori di energia eolica, con 1 GW, ed entro il 2030 produrrà 10 GW di energia elettrica con impianti eolici, a copertura del 25% dell'attuale fabbisogno nazionale. Negli Stati Uniti, le grandi pianure che si estendono dal Texas al North e al South Dakota sono considerate un terreno ideale per la generazione eolica. In Texas è in costruzione un impianto che fornirà elettricità a 139.000 abitazioni private.⁵⁷

L'energia idroelettrica è un'altra potenziale fonte d'energia rinnovabile per la produzione di idrogeno. Circa il 20% dell'energia solare viene consumata nell'evaporazione dell'acqua presente sulla superficie terrestre. Il vapore che, dopo essersi condensato, ricade sulla terra sotto forma di precipitazione atmosferica è la base dell'energia idroelettrica. Attualmente, negli Stati Uniti, il 10% del fabbisogno elettrico è coperto da impianti di generazione idroelettrica; nel mondo, la quota sale al 19%. Dunn ipotizza che saranno i paesi in cui l'energia idroelettrica è più conveniente, come Brasile, Canada, Norvegia e Islanda, i primi a sfruttare questa forma rinnovabile di energia per l'elettrolisi dell'acqua su larga scala.

Anche l'energia geotermica, ancorché non diffusamente sfruttata - copre soltanto lo 0,1% del totale dell'energia consumata nel mondo -, ha un enorme potenziale come risorsa d'energia rinnovabile. Acque calde e vapori che si sprigionano dalle viscere della terra nelle regioni vulcaniche, geyser e fonti termali calde possono essere convertiti in elettricità. Secondo le stime del Department of Energy degli Stati Uniti, nel solo territorio nazionale le risorse geotermiche sono superiori a 70 milioni di quad, un potenziale sufficiente per fornire energia per il consumo umano per centinaia di migliaia di anni. L'Islanda e le Hawaii, nel loro tentativo di trasformarsi rapidamente in economie dell'idrogeno, si affidano sempre più all'energia geotermica per generare l'elettricità necessaria per la produzione elettrolitica dell'idrogeno. «Province» geotermiche si trovano nel Pacifico, in India, nel Sudest asiatico, lungo le coste della Cina e del Giappone, sulle coste occidentali del Canada, degli Stati Uniti e dell'America meridionale, in alcune zone del Mediterraneo, in Russia e in Africa orientale.

Anche le biomasse, sotto forma di rifiuti agricoli e industriali, possono essere utilizzate per generare l'elettricità necessaria a ottenere idrogeno per via elettrolitica. La Gran Bretagna, per esempio, produce 30 milioni di tonnellate di rifiuti solidi ogni anno. Se questi rifiuti venissero inceneri-

ti, potrebbero produrre elettricità sufficiente per coprire il 5% del fabbisogno britannico. Secondo il Department of Energy degli Stati Uniti, il ricorso a nuove, avanzate turbine per la gassificazione delle biomasse potrebbe abbattere i costi dell'elettricità prodotta a 4,5 centesimi di dollaro per kilowattora. La Sheffield prevede che, entro la fine del primo decennio del ventunesimo secolo, l'energia ottenuta dalle biomasse potrebbe giungere a coprire il 5% del fabbisogno energetico mondiale. Il processo di gassificazione delle biomasse genera emissioni di CO₂, che però potrebbero essere riassorbite dalla crescita di nuove piante.

L'aspetto principale del ricorso a fonti rinnovabili d'energia - solare, eolica, idroelettrica e geotermica - per produrre idrogeno è che queste vengono così convertite in energia «immagazzinabile», che può essere utilizzata in forma concentrata quando e dove necessario, senza alcuna emissione di CO₂.

Questo punto merita di essere sottolineato. Un futuro fondato su fonti energetiche rinnovabili è molto improbabile, per non dire impossibile, se non si ricorre all'idrogeno come veicolo di immagazzinamento dell'energia. Questo perché l'elettricità è un effetto immediato dello sfruttamento delle varie forme di energia attualmente disponibili. Perciò, se il sole non splende, il vento non soffia, l'acqua non scorre, i combustibili fossili non bruciano, non si può generare energia elettrica e il sistema economico si ferma immediatamente. L'idrogeno è un modo molto conveniente di immagazzinare energia e di garantirne un costante e continuo approvvigionamento alla società.

Creare infrastrutture per la conservazione dell'idrogeno pone, tuttavia, ulteriori questioni di costi aggiuntivi. I fautori del complesso energia rinnovabile - idrogeno ripongono le loro speranze su innovazioni che portino allo sviluppo di piccole celle a combustibile, sia statiche che portatili, nonché sulla crescita del mercato per questi mini-impianti da impiegare in fabbriche, uffici, esercizi commerciali, abitazioni e automobili.

Celle a combustibile: mini-impianti di generazione

Le celle a combustibile non sono una novità - anzi, la loro invenzione precede quella del motore a combustione interna -, ma non hanno riscosso interesse, dal punto di vista industriale, fino agli anni Sessanta, quando la NASA decise di utilizzarle nel proprio programma spaziale per fornire elettricità alle navicelle. La missione lunare Apollo usava celle a combustibile sviluppate dalla divisione Pratt & Whitney dell'United Aircraft Corporation. L'azienda, che in seguito sarebbe stata ribattezzata United Technologies, fornisce anche le celle a combustibile dello *space shuttle*.

Le celle a combustibile sono come le batterie, ma con una notevole differenza. Le batterie immagazzinano energia chimica e la convertono in elettricità; quando la prima si esaurisce, la batteria è scarica; le celle a combustibile, viceversa, non immagazzinano energia chimica ma convertono l'energia chimica di un combustibile con cui vengono alimentate per generare elettricità; perciò non devono essere ricaricate e continuano a generare elettricità finché dall'esterno vengono forniti combustibile e ossidante.

Le celle a combustibile utilizzano l'idrogeno come carburante, poiché gli idrocarburi sono troppo «sporchi» per essere usati come combustibile primario. Una cella a combustibile è costituita da un anodo caricato negativamente da una parte, da un catodo caricato positivamente dall'altra, e da un elettrolito nel mezzo, composto da una soluzione alcalina o idroacida, o da una membrana plastica, che permette agli atomi di idrogeno, caricati elettricamente, di passare dall'anodo al catodo. Le celle a combustibile disponibili sul mercato sono composte da un gruppo di celle elementari sovrapposte (pila). L'alimentazione dell'idrogeno avviene sul lato dell'anodo, dove una reazione chimica scinde l'atomo di idrogeno in un protone e in un elettrone. Gli elettroni liberati escono attraverso il circuito elettrico esterno sotto forma di corrente elettrica continua, mentre gli ioni di idrogeno (i protoni) viaggiano attraverso

so lo strato elettrolitico verso il catodo caricato positivamente. Il flusso di elettroni ritorna verso il catodo, dove reagisce con gli ioni di idrogeno e l'ossigeno dell'aria, formando acqua. Una cella a combustibile funziona secondo un processo inverso a quello dell'elettrolisi, non ha parti in movimento, è silenziosa ed è fino a due volte e mezzo più efficiente del motore a combustione interna. Gli unici prodotti che genera sono elettricità (corrente continua), calore e acqua distillata.

Le celle a combustibile alimentate a idrogeno possono potenzialmente produrre elettricità a sufficienza per coprire il fabbisogno futuro dell'umanità, ma innescare la transizione dall'era dei combustibili fossili a quella dell'idrogeno non sarà facile. Produrre idrogeno è ancora troppo costoso e, attualmente, la maggior parte delle celle a combustibile sono alimentate a metano o con altri combustibili fossili. Come detto, piccole quantità di idrogeno sono già prodotte sfruttando l'energia solare, eolica, idroelettrica o geotermica per generare l'elettricità necessaria al processo di separazione dell'idrogeno dall'acqua. In anni recenti, in Germania, Italia, Spagna, Svizzera, Finlandia, Stati Uniti e perfino in Arabia Saudita sono stati allestiti impianti elettrolitici di produzione di idrogeno alimentati a energia solare o eolica. Ciononostante, il processo è ancora più costoso dello *steam reforming* degli idrocarburi.

Anche le celle a combustibile sono costose. Come ogni nuova tecnologia, la produzione di celle non ha ancora raggiunto la soglia critica per sfruttare economie di scala e ridurre significativamente il costo unitario di produzione. Ma decine di aziende di nuova costituzione, oltre ad alcuni colossi multinazionali, stanno entrando nel settore, nella speranza di aprire la strada all'economia dell'idrogeno. Ballard Power Systems di Barnaby, nella provincia canadese Columbia Britannica, e Plug Power di Latham, nello Stato di New York, hanno lanciato ambiziosi piani di marketing per dotare abitazioni e uffici di piccoli impianti autonomi di generazione a cella a combustibile. Le unità

domestiche generano da 1 a 15 kilowatt di potenza, mentre quelle commerciali vanno da 60 a 250 kilowatt. Plug Power ha avviato una partnership con General Electric e si aspetta di essere sul mercato nella seconda metà del 2002 con migliaia di unità per uso domestico.

Generazione distribuita

Quasi tutti gli attori del nuovo gioco dell'energia stanno prendendo in considerazione un modo radicalmente nuovo di distribuire l'elettricità, detto generazione distribuita (DG), al fine di risolvere la questione dei costi e spianare la strada a una nuova era energetica. La DG stravolge la logica convenzionale di distribuzione. Per la maggior parte del Novecento, l'energia elettrica è stata generata in grandi centrali e trasportata per lunghe distanze, sino all'utente finale, attraverso linee di trasmissione. La centralizzazione della generazione creava economie di scala, rendendo relativamente a buon mercato la produzione di elettricità e la sua distribuzione. Gli elevati investimenti di capitali richiesti dalla costruzione di una gigantesca centrale di generazione e la capillare rete di distribuzione potevano essere ammortizzati solo permettendo alle società elettriche di controllare il mercato su scala regionale. Così, negli Stati Uniti e in quasi tutti gli altri paesi del mondo, l'energia elettrica era gestita come servizio pubblico o come servizio di pubblica utilità, regolamentato dallo Stato come ogni monopolio naturale.

Ma negli anni Settanta e Ottanta l'infrastruttura centralizzata di generazione venne ripetutamente messa sotto accusa da chi affermava che la sua stessa dimensione la rendeva incapace di rispondere a nuove sfide, come l'aumento dei costi dovuto all'embargo petrolifero arabo, la crescita dei prezzi del greggio e il sempre più grave problema delle emissioni di CO₂ e di altri agenti inquinanti che minacciavano l'ambiente e la salute della popolazione. In risposta alla crescente pressione dell'opinione pub-

blica per individuare nuovi modi di conservare energia, nel 1978 il Congresso statunitense approvò la Public Utilities Regulatory Policy Act (PURPA): una legge pensata, almeno in parte, per incoraggiare il ricorso alla co-generazione, cioè al riciclo del calore prodotto dalla generazione elettrica per riscaldare e rifornire di energia fabbriche e uffici. La legge incentivava anche l'ingresso di nuovi operatori nel settore energetico, con una sia pur timida apertura alla concorrenza.

Nel frattempo, la *deregulation* del settore del gas naturale abbatté i prezzi di quel combustibile e stimolò la costruzione di nuove centrali a gas metano. Le nuove turbine a gas da 50 megawatt, o meno, erano economicamente efficienti e richiedevano investimenti nettamente inferiori a quelli necessari per le tradizionali centrali a carbone o a energia nucleare, da 1000 e più megawatt. Inoltre, i nuovi impianti di generazione a gas naturale potevano essere costruiti più rapidamente e presentavano una maggior facilità di manutenzione. I nuovi entrati sul mercato della produzione di energia affermavano che la logica tradizionalmente accettata di concedere alle società energetiche lo status di «monopolio naturale» - a compensazione degli elevati costi in conto capitale sostenuti per offrire un accesso economico all'elettricità - non valeva più, alla luce delle innovazioni tecnologiche che avevano reso la generazione di energia al contempo meno costosa e più versatile.

Poiché il settore dei servizi di pubblica utilità era afflitto anche da altri problemi, si fece ogni giorno più forte la pressione esercitata sia dagli operatori sia dall'opinione pubblica per una maggiore apertura a nuove forme di concorrenza e a nuove modalità di distribuzione dell'energia elettrica. Negli anni Sessanta e Settanta le società energetiche avevano investito massicciamente in impianti di generazione a energia nucleare. Negli anni Ottanta la lievitazione dei costi, dovuta anche alla chiusura di alcune di queste strutture, veniva scaricata sull'utente finale, che, in talune aree, era costretto a subire drammatici aumenti delle tariffe. A corto

di fondi, alcune grandi società energetiche nazionali riuscirono a investire a sufficienza in nuova capacità generazione per soddisfare una domanda, sia commerciale che privata, in espansione. Cali di potenza e interruzioni parziali (*brownout*) o totali (*blackout*) dell'erogazione di energia elettrica divennero più frequenti e provocarono l'irritazione tanto delle utenze commerciali, che a causa dell'interruzione del servizio subivano perdite impreviste, quanto dei privati cittadini, poco disposti a sopportare tali inconvenienti. Di conseguenza, questi monopoli naturali si trovarono con ben pochi amici disposti a battersi in difesa del loro status privilegiato, proprio nel momento in cui i produttori indipendenti di energia cominciarono a bussare a ogni porta, smaniosi di conquistarsi nuovi clienti.

La febbre della *deregulation*, che negli Stati Uniti raggiunse l'acme durante i mandati presidenziali di Ronald Reagan e George Bush, e in Gran Bretagna e in Germania quando al governo c'erano rispettivamente Margaret Thatcher e Helmut Kohl, scosse ogni settore, ma soprattutto quello energetico. Nel 1992 gli Stati Uniti approvarono l'Energy Policy Act, aprendo alla concorrenza il settore elettrico. I piccoli produttori indipendenti cominciarono a sfidare i giganti, introducendo tecnologie su scala ridotta per servire nicchie di mercato. Nasceva l'era della generazione distribuita.

L'espressione «generazione distribuita» designa, in genere, piccoli impianti di produzione di energia elettrica, isolati o interconnessi, collocati presso l'utente finale (fabbriche, grandi centri commerciali, uffici pubblici, quartieri, residenze private) o nelle immediate vicinanze.

Oggi, la tecnologia di microgenerazione più diffusa è quella dei motori alternativi alimentati a gasolio o a metano. Anche le turbine a metano e le microturbine alimentate a combustibili fossili si stanno rapidamente diffondendo nel settore della microgenerazione. In ogni caso, va crescendo il consenso degli esperti circa il fatto che, nel lungo periodo, saranno le celle a combustibile alimentate a idro-

geno a dominare il mercato della generazione distribuita: oltre a essere più efficienti dei motori a combustione interna e meno inquinanti, sono anche più flessibili. Le celle a combustibile vengono prodotte in moduli che permettono all'utente finale di personalizzare l'unità di generazione in funzione di specifici bisogni, e, qualora si verifichi un aumento del fabbisogno energetico, è possibile aggiungere all'unità di generazione altri moduli con costi supplementari minimi.

Attualmente il costo dell'elettricità generata da celle a combustibile oscilla fra i 3000 e i 4000 dollari a kilowatt, mentre quella prodotta da convenzionali impianti a gas si colloca fra i 500 e i 1000. Naturalmente, il costo della generazione con celle a combustibile continuerà a diminuire in proporzione al grado di diffusione di questo tipo di unità, il che creerà ulteriori economie di scala, favorendo l'innovazione. Gli analisti del settore sono fiduciosi riguardo al potenziale mercato delle celle a combustibile e citano le diverse ragioni sulle quali basano la loro convinzione che la rete elettrica passerà probabilmente dalla generazione centralizzata a quella decentralizzata, ovvero ubicata presso l'utente finale o nelle immediate vicinanze.

In primo luogo, nell'industria e nel commercio - soprattutto nei settori dell'elettronica, dell'informatica e del software - cresce la preoccupazione riguardo a interruzioni totali o parziali dell'erogazione di energia elettrica. Già oggi le aziende americane parlano di *premium power*, nell'industria, nelle banche, nelle comunicazioni e in tutti gli altri settori pressoché completamente dipendenti non solo da un flusso ininterrotto di informazioni elettroniche attraverso Internet e le reti intranet, ma anche dalla funzionalità di complessi database e apparecchiature digitali di ogni genere, la mancanza di elettricità può provocare gravi danni nella produzione e nella distribuzione, oltre che la perdita di fondamentali patrimoni di conoscenza.

Un'interruzione del flusso di elettricità di 8 millesimi di secondo può provocare un disastro. Nel 1997 la sospen-

sione per un'ora della fornitura elettrica alla National Bank di Omaha, in Nebraska, ha provocato un *crash* del sistema informatico che gestiva le transazioni fra la banca e le maggiori carte di credito. La banca stima di aver subito un danno, in termini di mancato guadagno, superiore ai 6 milioni di dollari. Perciò, a scopo cautelativo, ha deciso di installare nel proprio centro servizi informatici quattro celle a combustibile da 200 kilowatt.

In alcuni settori industriali, anche un momentaneo calo di tensione può provocare lo spegnimento di macchinari e la perdita di milioni di dollari. Hewlett Packard stima che un blackout di quindici minuti in uno dei suoi stabilimenti per la produzione di microprocessori possa costare all'azienda 30 milioni di dollari, circa la metà dell'importo della bolletta elettrica annuale dell'impianto. Le interruzioni di energia elettrica costano all'industria americana fra i 12 e i 26 miliardi di dollari l'anno, ma si tratta di cifre destinate inevitabilmente a lievitare, dato che sono in aumento le aziende che, per la gestione delle proprie attività produttive e commerciali, dipendono da tecnologie digitali, software e reti elettroniche di tutti i tipi.

Anche nei palazzi per uffici vengono installate celle a combustibile, per garantirne l'autonomia rispetto a eventuali interruzioni elettriche che, in passato, hanno messo in ginocchio città come New York. Proprio a New York, in Times Square, un palazzo di recente costruzione dispone di celle a combustibile da 200 kilowatt, che forniscono acqua calda, illuminazione per la facciata e generazione autonoma in caso di blackout.

79

In Nordamerica, quello della *premium power*, soprattutto per la generazione d'emergenza, è attualmente un mercato da 7-10 miliardi di dollari l'anno, con ottime possibilità di espansione. Nel caso in cui gli importi delle bollette e i disservizi della rete elettrica centralizzata dovessero continuare ad aumentare, le aziende potrebbero decidere di trasformare i loro gruppi elettrogeni d'emergenza in fonte primaria di energia.

Anche alcuni servizi pubblici fondamentali sono sempre più esposti ai rischi di possibili interruzioni dell'erogazione centralizzata di elettricità: ospedali, autorità di pubblica sicurezza e stazioni di pompaggio degli acquedotti fanno già ricorso a gruppi elettrogeni autonomi per fronteggiare le emergenze. Il New York City Police Department ha installato nel commissariato di Central Park una cella a combustibile, il cui costo è assai inferiore a quello della creazione di un collegamento tramite cavi interrati fra gli uffici al centro del parco e la rete elettrica.

I danni prodotti da interruzioni della distribuzione elettrica stanno diventando motivo di crescente preoccupazione anche per i comuni cittadini. La prima cella a combustibile in una residenza privata è stata installata in una casa di campagna nei pressi di Albany,⁸ New York, nel giugno del 1998. Una cella a combustibile delle dimensioni di un frigorifero può fornire fino a 50 kilowatt di elettricità, cioè quanto basta per una palazzina. In futuro, la generazione distribuita potrebbe diventare un mercato in forte espansione anche nel segmento residenziale. Sono già milioni, infatti, gli individui che lavorano a casa e contano su un flusso ininterrotto di elettricità per restare connessi alla rete; per costoro, la generazione d'emergenza potrebbe diventare un costo necessario per la produzione del reddito. Ma anche altri privati cittadini sono esasperati dalle sospensioni del servizio, con le conseguenti interruzioni di riscaldamento, condizionamento e refrigerazione, e potrebbero decidere di mettersi al sicuro, installando un gruppo elettrogeno autonomo. Gli anziani, costretti a rimanere fra le mura domestiche e dipendenti per il proprio benessere da apparecchi medicali e servizi della più varia natura, potrebbero installare generatori d'emergenza, qualora perdessero la fiducia nella capacità delle compagnie elettriche di garantire un flusso ininterrotto di energia. Negli ultimi tempi i cittadini più sensibili verso i temi della sicurezza e dell'ordine pubblico, inquieti per il dilagare del crimine e del terrorismo, hanno ampliato i loro orizzonti, e presto potrebbero mettere fra le

proprie priorità la generazione elettrica d'emergenza. In totale, oltre un milione di proprietari di case hanno intenzione di acquistare un microimpianto di generazione autonoma di qualche genere. Molto probabilmente, diventando sempre più convenienti e facili da installare e da usare, le celle a combustibile diventeranno la scelta più comune.

La generazione distribuita sta anche conquistando i favori dell'opinione pubblica sull'onda del diffuso timore per il riscaldamento terrestre e del conseguente desiderio di utilizzare in modo più efficiente l'energia, riducendo le emissioni di CO₂ nell'atmosfera. Installando microimpianti presso la propria residenza o il luogo di lavoro, l'utente finale può sfruttare il calore prodotto dall'elettricità per riscaldare la struttura o generare ulteriore energia. La cogenerazione aumenta l'efficienza, diminuendo fino al 50% la quantità di combustibile utilizzato. La cogenerazione riduce anche nella stessa misura le emissioni di CO₂, poiché l'energia elettrica e quella termica non devono essere prodotte e trasportate separatamente all'utente finale.

Un passaggio generalizzato dalla generazione centralizzata alimentata a combustibili fossili a celle a combustibile alimentate a idrogeno e inserite in una rete di generazione distribuita - soprattutto nel caso in cui l'idrogeno venisse prodotto utilizzando energia solare, eolica, idroelettrica o geotermica - potrebbe ridurre le emissioni di CO₂ più drasticamente di qualsiasi altra innovazione attualmente allo studio. Il *World Energy Assessment*, pubblicato congiuntamente dall'United Nations Development Program, dal Department of Economic and Social Affairs delle Nazioni Unite e dal World Energy Council, è giunto alla conclusione che un regime energetico fondato sull'idrogeno, con emissioni prossime allo zero, «darebbe alla società la capacità di ottenere, a lungo termine, sensibili riduzioni delle emissioni di CO₂ ... rendendo così possibile la limitazione del livello di CO₂ nell'atmosfera al doppio di quello esistente in epoca preindustriale, forse anche meno, in risposta al diffuso timore di un cambiamento climatico».⁸⁵

Un numero crescente di utenti ricorre già oggi alla generazione distribuita per quello che gli operatori del settore definiscono *peak shaving*: il costo dell'energia elettrica può variare da un momento all'altro, in funzione del rapporto fra domanda e capacità di generazione disponibile; alle fluttuazioni di questo rapporto corrispondono tariffe orarie e stagionali diversificate fra i periodi di punta, normali e di minor domanda. Nei periodi di punta, cioè quando la domanda è massima, spesso le società elettriche devono mettere in funzione anche gli impianti di generazione meno efficienti; i costi aggiuntivi vengono trasferiti sull'utente finale, che deve pagare tariffe più elevate per il consumo effettuato in quei periodi. In corrispondenza degli orari a tariffa più elevata, i possessori di impianti a generazione distribuita potrebbero decidere di sganciarsi dalla rete elettrica e risparmiare, producendo da sé l'energia di cui hanno bisogno.

Secondo quanto afferma Peter Fairly, in futuro le celle a combustibile controlleranno le tariffe attraverso una connessione Internet, o grazie a segnali digitali integrati nella corrente elettrica stessa. Per esempio, la cella sarà in grado di analizzare informazioni in tempo reale sul prezzo del gas naturale e dell'elettricità e, nel caso in cui fosse conveniente, passare automaticamente dalla rete centralizzata alla generazione distribuita, accendendo il microimpianto elettrogeno. Dal momento che la maggior parte delle aziende e dei proprietari di case non hanno alcuna competenza circa la complessità del settore energetico, nuovi intermediari - come Williams International, una società energetica di Tulsa i cui gasdotti trasportano già oggi il 20% del metano in America - agiranno come erogatori di servizi, fornendo «un pacchetto completo: finanziamento dell'installazione⁸⁶del microimpianto di generazione, fornitura di energia elettrica in rete e consulenza all'utente per ottimizzare l'utilizzo delle due modalità di copertura del fabbisogno».

E interessante notare come le società che forniscono ser-

vizi di pubblica utilità abbiano molto da guadagnare dalla generazione distribuita, anche se molte di loro, fino a oggi, ne hanno osteggiato lo sviluppo. La generazione distribuita, in quanto mirata a coprire segmenti specifici di utenza e di bisogni, è più efficiente e meno costosa, come strumento per fornire energia addizionale, di una fonte di energia centralizzata. Per una società elettrica, costruire una linea di 10 chilometri per connettere un utente da 3 megawatt costa fra i 365 e i 1100 dollari per kilowattora; un sistema di generazione distribuita potrebbe soddisfare il medesimo fabbisogno a un costo compreso fra i 400 e i 500 dollari per kilowattora. Generare elettricità presso l'utente finale, o nelle sue immediate⁸⁸vicinanze, riduce anche la quantità di energia utilizzata, dal momento che fra il 5 e l'8% dell'energia trasportata a lunga distanza si disperde lungo le linee di trasmissione.

Le società energetiche americane sono ansiose di evitare gli ingenti investimenti finanziari per espandere la propria capacità di generazione poiché, sulla base della nuova legge di ristrutturazione del settore, non possono più scaricare questi costi sull'utente finale. E siccome la competizione nel settore si è fatta molto dura, sono anche riluttanti a impiegare fondi delle proprie riserve per finanziare nuovi investimenti. Di conseguenza, mettono gli impianti esistenti sotto pressione oltre le loro capacità di soddisfare la domanda, provocando un aumento dei guasti e delle interruzioni di servizio. Per tale ragione, numerose società elettriche si stanno orientando verso la generazione distribuita per soddisfare la crescente domanda di utenti commerciali e residenziali, contenendo l'esposizione⁸⁹ finanziaria. Dal punto di vista delle compagnie elettriche, il fattore critico è controllare la generazione distribuita e far sì che lavori «per loro e non contro di loro».

Ann Chambers, nel suo *Distributed Generation*, individua due strategie che le compagnie elettriche possono utilizzare per «controllare il fenomeno»: da una parte, costruire e installare nuovi impianti di generazione distribuita in pun-

ti strategici della propria rete di distribuzione; dall'altra, noleggiare all'utente finale celle a combustibile, o installarle direttamente presso di lui, a condizione che questi si scoli⁹⁰ leghi dalla rete nei momenti di punta, ricorrendo al proprio microimpianto di generazione al fine di alleggerire il carico e prevenire interruzioni del servizio nell'intero sistema. L'utente finale verrebbe compensato con uno sconto sulla bolletta.

I benefici della generazione distribuita, tanto per le società elettriche quanto per gli utenti finali, sono notevoli. Nel 1999 la Arthur D. Little, una società di ricerca e consulenza, in uno studio approfondito sui vantaggi della generazione distribuita giunse alla conclusione che «potenzialmente la DG potrebbe giocare un ruolo fondamentale a complemento della - o in alternativa alla - rete elettrica centralizzata ... la gamma delle tecnologie DG e la loro flessibilità nelle dimensioni, nelle performance e nell'applicazione lascia pensare che la DG possa rappresentare una soluzione per la fornitura di energia in molti contesti industriali, commerciali e residenziali in tutti gli Stati Uniti». Perfino i più cauti fra gli analisti del settore prevedono che in futuro la generazione distribuita coprirà fino al 30% della nuova capacità di generazione installata negli Stati Uniti.

Hydrogen Energy Web (HEW)

Nella storia, le grandi rivoluzioni economiche si verificano quando nuove tecnologie di comunicazione si fondono con un nuovo regime energetico, creando così un nuovo paradigma economico. Per esempio, nel Quattrocento l'invenzione del torchio da stampa introdusse una forma di comunicazione che, combinandosi, alcuni secoli dopo, con le tecnologie del vapore e del carbone, segnò l'inizio della rivoluzione industriale. La stampa rappresentò una forma di comunicazione sufficientemente agile e veloce per il coordinamento di un mondo alimentato dall'energia del vapo-

re: non sarebbe stato possibile coordinare l'aumento di ritmo, velocità, flusso, densità e interattività della vita sociale ed economica, determinato dal vapore, affidandosi solo alle tecnologie della comunicazione verbale e manoscritta. Analogamente, il telegrafo e, in seguito, il telefono rappresentarono una forma di comunicazione abbastanza rapida per adeguarsi all'aumento di ritmo, velocità, flusso, densità e interattività che si verificarono con la progressiva sostituzione del carbone con il petrolio.

Oggi l'idrogeno, le nuove celle a combustibile e le tecnologie di generazione distribuita cominciano a convergere con la rivoluzione dell'informatica e delle telecomunicazioni, lasciando presagire l'avvento di un'era economica completamente nuova. Le celle a combustibile, che rappresentano la base dell'ormai avviata rivoluzione della generazione distribuita, cominciano a essere connesse l'una all'altra, grazie a sofisticati software informatici, tecnologie digitali intelligenti e accesso a Internet, in modo da formare l'embrione di una rete energetica distribuita. Presto, gli utenti finali riusciranno non solo a produrre energia per sé, ma anche a dividerla con altri, mettendo in discussione l'attuale regime in cui l'energia si muove in una sola direzione, dall'alto verso il basso. «La trasformazione dell'utente passivo di energia in produttore autonomo» scrive Steve Silberman «è equiparabile allo sviluppo dei media interattivi, della condivisione fra pari e dell'autoregolamentazione» nel World Wide Web. Le conseguenze della connessione di tutti i proprietari di microimpianti di generazione a cella a combustibile in una rete di condivisione dell'energia saranno profonde e diffuse quanto lo sono state quelle prodotte dallo sviluppo del World Wide Web negli anni Novanta.

Sottolineando le molte, evidenti analogie fra ciò che è già accaduto con la rete e quello che si sta verificando grazie alla generazione distribuita, nel suo recente *Perspectives on the Future* l'EPRI è giunto alla conclusione che la DG è destinata a svilupparsi

... in maniera molto simile a come si è evoluta l'industria informatica: i grandi computer *mainframe* hanno ceduto il passo a piccole macchine *laptop* e *desktop*, geograficamente disperse ma interconnesse in reti totalmente integrate ed estremamente flessibili. Nel nostro settore, le grandi centrali di generazione continueranno naturalmente ad avere un ruolo preminente, ma avremo sempre più necessità di impianti di generazione più piccoli, puliti, distribuiti sul territorio ... supportati da tecnologie di immagazzinamento dell'energia. Un elemento fondamentale di tale sistema sarebbero i controlli elettronici avanzati, assolutamente indispensabili per gestire l'ingente flusso di informazioni e di energia implicito nella complessità di queste interconnessioni.

Molte considerazioni e preoccupazioni che portarono allo sviluppo del World Wide Web stanno favorendo la nascita dell'Hydrogen Energy Web (HEW). Alla fine degli anni Sessanta fu il Pentagono a creare il precursore di Internet: il Department of Defense degli Stati Uniti voleva abbattere i costi per fornire moderni supercomputer ai ricercatori delle università e delle aziende fornitrici, e cominciò a esplorare metodi per la condivisione della capacità di elaborazione dei dati fra più utenti, separati da grandi distanze. L'apparato militare era anche preoccupato della potenziale vulnerabilità delle attività di comunicazione controllate centralmente rispetto ad attacchi o a guasti di varia natura, e cercava un nuovo mezzo di comunicazione decentralizzato in cui tutte le parti coinvolte potessero produrre e inviare informazioni a tutte le altre, oltre che riceverle, e fossero in grado di continuare a funzionare, anche in caso di distruzione o isolamento di una parte del sistema. La soluzione fu ARPANET, sviluppata dall'Advanced Research Projects Agency del Department of Defense. Il primo computer *host* divenne operativo nel 1969; nel 1988 gli *host* connessi erano già più di 60.000. La National Science Foundation creò la propria rete informatica (NSF net) per connettere ricercatori universitari in tutta la nazione. Quando, nel 1990, ARPANET chiuse, NSFnet divenne il principale strumento per la connessione dei computer e, alla fine, si trasformò in Internet.⁹⁵

A Denver, in Colorado, due aziende (Encorp e Celerity) connettono cinque grandi impianti di generazione distribuita, presso siti industriali e commerciali, in una delle prime microreti energetiche: nel complesso, la rete produce 5 megawatt di potenza. Una microrete simile a questa sta per essere creata da Celerity, insieme a una società denominata Sixth Dimension, ad Albuquerque, in New Mexico, connettendo dodici impianti di generazione, la cui capacità sarà di 25 megawatt. In futuro, «impianti di generazione virtuali» potranno collegare migliaia di celle a combustibile, in modo da generare elettricità nella stessa misura degli attuali impianti centralizzati di generazione da 1000 e più megawatt.

Le società di distribuzione elettrica di trenta Stati dell'Unione permettono già ai propri clienti di generare energia in proprio e rivenderla alla rete principale. E nel 2001, al Senato degli Stati Uniti, è stata presentata una proposta di legge per obbligare i produttori e distributori di energia elettrica a permettere ai clienti che dispongono di impianti di generazione alimentati con energie rinnovabili di rivendere alla rete il proprio surplus energetico.

La maggior parte degli impianti di generazione distribuita sono utilizzati come supporto alla rete centralizzata e vengono impiegati solo in situazioni d'emergenza, in cui la fornitura di elettricità è interrotta. Questo significa che rimangono inattivi per la maggior parte del tempo. Se, invece, potessero essere efficacemente integrati nella rete, potrebbero diventare parte della struttura produttiva e fornire alle società elettriche, spesso in difficoltà nel soddisfare una domanda in crescita, energia supplementare durante i periodi di picco della domanda.

Alla fine, la capacità di generazione complessiva della rete energetica degli utenti finali potrebbe superare quella delle centrali delle società elettriche. Quando ciò accadrà, si sarà compiuta una rivoluzione nel modo di produrre e distribuire elettricità. Nel momento in cui il cliente, l'utente finale, diventa produttore e fornitore di energia, le società energetiche di tutto il mondo, se vorranno sopravvi-

vere, saranno costrette a ridefinire il proprio ruolo. Alcune stanno già esplorando la possibilità di trasformarsi in fornitori di pacchetti di servizi energetici e in coordinatori dell'attività di produzione nelle reti energetiche che si stanno formando. Nel nuovo ordine di cose, le società elettriche diventerebbero «società di servizio pubblico virtuale», che assistono gli utenti finali connettendoli gli uni agli altri e aiutandoli a condividere in modo redditizio ed efficiente i propri surplus energetici. Nell'era della generazione distribuita, coordinare i contenuti anziché produrli sta diventando la parola d'ordine delle società energetiche, per le quali il modello organizzativo da emulare è quello di America Online (AOL).

Ma, prima che l'HEW diventi una realtà, devono essere apportati cambiamenti all'attuale rete elettrica, per garantire sia un facile accesso sia un flusso scorrevole di servizi energetici. Connettere alla rete principale migliaia - o milioni - di celle a combustibile richiederà meccanismi di controllo e distribuzione estremamente sofisticati, in grado di regolare il traffico di energia tanto nei periodi normali quanto in quelli di punta. Encorp ha già sviluppato programmi software per il monitoraggio e il controllo a distanza, che accendono automaticamente i generatori locali e li connettono alla rete principale nei momenti di massimo carico, quando è richiesta più energia ausiliaria. Si stima che gli impianti esistenti, adattati al nuovo uso, possano produrre energia a un costo di circa 100 dollari per kilowattora, una cifra inferiore a quella necessaria per dotarsi di nuova capacità di generazione."

Il problema della rete di distribuzione elettrica attuale è quello di essere stata progettata per assicurare un flusso d'energia a senso unico: dalla centrale verso l'utente finale. Non meraviglia, dunque, che il presidente dell'EPRI, Kurt Yeager, abbia recentemente sottolineato come «l'attuale infrastruttura elettrica [sia] incompatibile con il futuro quanto le carrarecche lo erano con l'automobile».¹⁰⁰ Sotto molti aspetti, la rete attuale è in condizioni simili a quelle dell'e-

ditoria radiotelevisiva prima dell'avvento del World Wide Web, quando le connessioni andavano in un'unica direzione: dalla fonte di informazione a un'audience passiva.

Trasformare la rete elettrica in un network interattivo di migliaia - o milioni - di piccoli fornitori-utenti richiederà uno sforzo colossale. Tanto per cominciare, l'attuale infrastruttura distributiva non è pensata per dirigere specifiche quantità d'energia in altrettanto specifiche aree della rete; di conseguenza, l'energia fluisce ovunque, causando spesso ingorghi e sprechi. Una nuova tecnologia sviluppata dall'E-PRI, chiamata FACTS (*Flexible Alternative Current Transmission System*), offre alle società di distribuzione la capacità di «fornire quantità misurate di energia a specifiche aree della rete». Joel Silberman, sulla rivista «Wired», ha sottolineato un'evidente analogia con il World Wide Web, scrivendo che «i meccanismi di controllo FACTS stanno alla rete elettrica come i *router* stanno a quella informatica». Il primo FACTS' è stato acquistato nel 1998 da American Electric Power; (AEP), una società attiva nel Kentucky. Oggi, le società di distribuzione elettrica che li utilizzano sono nove.

L'integrazione di hardware e software informatico di punta trasforma la rete centralizzata in un network energetico intelligente, completamente interattivo. Sensori e agenti intelligenti integrati nel sistema possono fornire informazioni in tempo reale sulle condizioni della domanda, permettendo di far affluire la corrente esattamente dove e quando è necessaria, alle migliori condizioni possibili. Per esempio, Sage Systems ha creato un software che permette alle società di distribuzione di «ripartire istantaneamente il carico», se il sistema è al massimo e in condizioni limite, «regolando automaticamente il termostato di qualche migliaio di utenti ... [con] un unico comando diffuso via Internet». Un altro nuovo prodotto, Aladyn, permette all'utente di monitorare e regolare l'energia utilizzata dagli elettrodomestici, dall'impianto di illuminazione e da quello dell'aria condizionata, attraverso un normale Web browser.

In un futuro ormai prossimo, sensori integrati in tutti gli elettrodomestici e le apparecchiature elettriche (frigoriferi, condizionatori d'aria, lavatrici, impianti d'allarme) forniranno informazioni in tempo reale sul costo dell'energia, oltre che su temperatura, luce e altre condizioni ambientali, cosicché fabbriche, uffici, case, quartieri e intere comunità possano continuamente e automaticamente adattare il proprio fabbisogno energetico a quello generale e al carico del sistema.

Uno studio commissionato dal Department of Energy degli Stati Uniti, e pubblicato nel 2000 con il titolo *Making Connections*, è giunto alla conclusione che il maggiore ostacolo alla creazione di una rete energetica interattiva siano «gli antiquati meccanismi di regolamentazione e di incentivazione che favoriscono il monopolio dell'offerta e la ripartizione uniforme dei costi del sistema su tutti gli utenti». Questo studio ha chiarito che, nell'attuale contesto normativo,

le società di servizio pubblico non hanno alcun incentivo a incoraggiare la generazione distribuita. Al contrario, incentivi previsti dalla legge spingono le società di distribuzione elettrica a difendere il monopolio dall'entrata nel mercato di tecnologie energetiche distribuite.

Nei due anni trascorsi dalla pubblicazione dei risultati dello studio, la situazione ha cominciato a cambiare. Come detto, un numero sempre maggiore di società elettriche sono giunte alla conclusione che la generazione distribuita presenta, per loro stesse, più vantaggi di quelli che garantirebbe il mantenimento del monopolio sulla rete, e stanno iniziando a cooperare con proprietari e gestori indipendenti di impianti autonomi di generazione, al fine di creare reti energetiche interattive.

Una delle necessità più pressanti è quella di stabilire standard uniformi per garantire uguale accesso alla rete a tutti i proprietari di impianti di generazione distribuita. Attualmente il Department of Energy del governo degli Stati Uniti, l'Institute of Electric and Electronic Engineers,

le società energetiche, i produttori indipendenti di celle a combustibile e di altre tecnologie di generazione distribuita e gli utenti finali stanno lottando contro le barriere legislative e le misure anticoncorrenziali adottate da alcune società elettriche, che impediscono ai sistemi di generazione distribuita un accesso equo e paritario alla rete.

La convergenza di generazione distribuita e sistema di informazione distribuita è destinata a cambiare per sempre il modello energetico. Per la prima volta si crea la possibilità di sostituire il tradizionale approccio dall'alto al basso con il suo opposto, dal basso all'alto: una democratizzazione dell'energia, in cui ognuno può essere nello stesso tempo fornitore e consumatore.

La generazione distribuita e la creazione di reti energetiche locali - e, eventualmente, di un'unica rete mondiale - è la logica conseguenza della creazione di una rete globale di comunicazione. Comunicazione interattiva e condivisione interattiva dell'energia si favoriscono e si alimentano reciprocamente: quanto più le due rivoluzioni tecnologiche si fondono, tanto più si consolidano le fondamenta di una nuova società e di una nuova economia, in cui - almeno in teoria - l'aumento del flusso d'energia possa essere soddisfatto attraverso un nuovo tipo di infrastruttura complessa che, per la prima volta nella storia, è decentralizzata per propria natura e autenticamente democratica nella forma.

Trasformare l'automobile in una centrale energetica

La rivoluzione della generazione distribuita decollerà probabilmente nei prossimi anni, con l'immissione sul mercato di automobili, autobus e autocarri a cella a combustibile. Tutte le maggiori case automobilistiche del mondo hanno annunciato piani per lo sviluppo di automobili a cella a combustibile. Nel 1997 Daimler-Benz ha avviato una joint-venture da 350 milioni di dollari con Ballard Power Systems, una società canadese specializzata nello sviluppo di celle a combustibile, per creare motori a idrogeno. Secondo

la casa automobilistica, entro la fine del decennio in corso si produrranno 100.000 automobili a cella a combustibile, un settimo della sua attuale produzione annua. Al progetto congiunto Daimler-Chrysler-Ballard si è associata la Ford, portando l'investimento complessivo a oltre un miliardo di dollari. Toyota spera di avere un modello a cella a combustibile in produzione entro la fine del decennio; GM ha promesso al pubblico una vettura a idrogeno entro il 2010; Nissan, Honda e Mitsubishi hanno annunciato piani per lo sviluppo di vetture alimentate a idrogeno, con un investimento congiunto di un miliardo di dollari.

Per quanto il pubblico abbia sentito parlare poco di automobili alimentate a idrogeno, le case automobilistiche mondiali si stanno preparando, dietro le quinte, per quella che si prospetta come la più importante rivoluzione nel modo di sfruttare l'energia dall'invenzione del motore a combustione interna, un centinaio di anni fa. Bill Ford, pronipote di Henry e attuale presidente della Ford Motor Company, si è spinto a dichiarare: «Sono convinto che la cella a combustibile segnerà la fine del regno del motore a combustione interna che dura da cent'anni».

L'entusiasmo delle case automobilistiche ha trovato riscontro in alcune società leader mondiali nel settore dell'energia. Chris Fay, amministratore delegato della Shell UK, con sede a Londra, ha affermato che la Shell «è convinta che i veicoli alimentati da cella a combustibile a idrogeno probabilmente entreranno massicciamente nel mercato automobilistico europeo e americano entro il 2005». Fay afferma altresì che «questa tendenza rappresenta, per aziende come la Shell, un forte stimolo allo sviluppo di nuovi prodotti e nuove tecnologie, e un incentivo a preparare e informare la clientela sui grandi cambiamenti che ci attendono».

Le implicazioni di questa trasformazione sono incommensurabili. Oggi, sulle strade di tutto il mondo circolano 750 milioni di veicoli passeggeri e merci, e ci si aspetta che nei prossimi venticinque anni la loro quantità raddoppi.¹¹⁰ Sono tutti alimentati a combustibili fossili.¹¹¹ Nei soli

Stati Uniti, i trasporti contano per il 54% dei consumi petroliferi annuali. A livello mondiale, i trasporti assorbono più del 20% dell'energia primaria. Inoltre, secondo l'International Energy Agency, il 17% del totale delle emissioni di anidride carbonica derivano dalla combustione di petrolio per il trasporto stradale.

Immaginiamo ora che l'intero parco mondiale di automobili, autobus e autocarri sia alimentato da celle a combustibile a idrogeno anziché da motori a combustione interna. Naturalmente, all'inizio, l'idrogeno dovrebbe essere prodotto attraverso processi di *steam reforming* del metanolo e, purtroppo, alcune case automobilistiche potrebbero perfino decidere di ricorrere alla benzina. Ma, con il passare del tempo, i combustibili fossili verranno abbandonati in favore di fonti energetiche rinnovabili - fotovoltaica, eolica, idroelettrica, geotermica e biomassa - per produrre, a basso costo ed efficientemente mediante elettrolisi dell'acqua, l'idrogeno da utilizzare come carburante. Le celle a combustibile a idrogeno non generano alcuna emissione: come detto, i loro unici sottoprodotti sono acqua distillata e calore. Il lungo regno dell'energia degli idrocarburi volgerebbe al termine e, con esso, scomparirebbero le emissioni di CO₂ derivanti dal processo di combustione e responsabili dell'aumento dell'entropia. Il surriscaldamento globale potrebbe essere drasticamente rallentato e il rischio ambientale a lungo termine connesso al riscaldamento del pianeta verrebbe in buona parte mitigato.

Altrettanto importante è, nell'era delle celle a combustibile a idrogeno, è il fatto che l'automobile stessa diventerebbe una «centrale energetica su ruote» con una capacità di generazione di 20 kilowatt. Dato che, mediamente, un'auto resta ferma in parcheggio per il 96% del tempo, quando non circola potrebbe essere connessa alla rete domestica, a quella aziendale o a quella generale, fornendo energia ausiliaria al sistema. I ricavi derivanti dalla vendita di energia alla rete contribuirebbero ad abbattere il costo del noleggio o dell'acquisto del veicolo. Se anche soltanto una piccola percen-

tuale di automobilisti utilizzasse la propria auto come centrale di generazione per rivendere elettricità alla rete, la maggior parte delle centrali elettriche mondiali potrebbero essere eliminate, dal momento che un parco di 200 milioni di veicoli con cella a combustibile alimentata a idrogeno ha una capacità di generazione quadrupla rispetto all'attuale sistema elettrico americano. L'energia potenziale resa disponibile dal passaggio ad automobili a idrogeno è incredibile. Bertrand Dusseiller, di Asea Brown Boveri, calcola che la potenza motrice di tutte le automobili prodotte al mondo in un anno è superiore al totale della capacità di generazione di tutte le centrali elettriche.

La questione fondamentale con cui l'industria automobilistica si deve confrontare, nella transizione al veicolo motorizzato con celle a combustibile, è come produrre, distribuire e immagazzinare l'idrogeno a costi tali da essere competitivo con la benzina. Alcuni studi stimano che il costo connesso con la creazione di una rete nazionale per la produzione e la distribuzione all'ingrosso di idrogeno sarebbe superiore nei soli Stati Uniti ai 100 miliardi di dollari. La questione dell'idrogeno si trasforma così nella classica alternativa fra l'uovo e la gallina. Le società automobilistiche non ritengono di doversi esporre eccessivamente nella produzione di automobili equipaggiate con celle a combustibile alimentate direttamente a idrogeno, nel timore che le società energetiche non investano a sufficienza per creare le migliaia di stazioni di rifornimento per il nuovo carburante. Per tale ragione, cautelativamente, stanno sviluppando automobili a celle a combustibile con *reformer* per la conversione di benzina o metano in idrogeno. Le società energetiche, a loro volta, non pensano di investire miliardi per creare un'infrastruttura diffusa per il rifornimento di idrogeno finché non vi sarà in circolazione un numero sufficiente di auto a idrogeno.

Secondo alcuni critici, se l'industria automobilistica decidesse di produrre vetture con celle a combustibile dotate di un trasformatore di carburante - un impianto termochimi-

co portatile - per convertire benzina o metanolo in idrogeno, si chiuderebbe in una strategia intermedia inutile e con costi a lungo termine che potrebbero superare i 1000 miliardi di dollari per la sostituzione dell'intero parco auto.

Sulle pagine di «The International Journal of Hydrogen Energy», CE. (Sandy) Thomas - già membro della Directed Technologies Inc., una società che fornisce consulenza sulle tecnologie delle celle a combustibile alla Ford Motor Company - e collaboratori scrivono che, da un approfondito studio sui costi comparati dell'utilizzo di un impianto di bordo per la conversione di benzina o metanolo in idrogeno e dell'alimentazione delle celle direttamente a idrogeno, quest'ultima risulta decisamente più conveniente. Gli autori dell'articolo sostengono che la ragione per cui in tutte le stime delle società del settore il costo dell'idrogeno è così elevato risiede nel fatto che queste ipotizzano la costruzione sul territorio di una rete per il trasporto dell'idrogeno, analoga a quella dei metanodotti, che costerebbe decine di miliardi di dollari. In uno studio commissionato dalla Ford Motor Company e dal Department of Energy degli Stati Uniti, gli autori sono giunti alla conclusione che «l'idrogeno possa essere fornito al veicolo equipaggiato con celle a combustibile a un costo inferiore, producendo e installando piccoli impianti per lo *steam reforming* del metano o elettrolizzatori di modeste dimensioni direttamente presso le stazioni di rifornimento o l'autorimessa del gestore di una flotta di veicoli», evitando così di costruire un gigantesco sistema di condotte per la distribuzione dell'idrogeno. Nel periodo di transizione, l'idrogeno potrebbe essere prodotto «dove, quando e quanto necessario per soddisfare la crescita incrementale delle vendite di FCV [veicoli a celle a combustibile], minimizzando il fabbisogno di grandi investimenti infrastrutturali prima che ci sia in circolazione un numero di FCV sufficiente a garantire un adeguato ritorno dell'investimento».¹²⁰ Inoltre, il processo di conversione si affiderebbe ai gasdotti esistenti per fornire il metano necessario alla produzione di idrogeno o, in al-

ternativa, alla rete elettrica per alimentare impianti di elettrolisi dell'acqua.

Quando hanno messo a confronto il processo di *reforming* del metanolo o della benzina eseguito a bordo della vettura con l'utilizzo diretto di idrogeno prodotto da piccoli impianti di *steam reforming* del metano o di idrolisi distribuiti sul territorio, i ricercatori hanno evidenziato la maggiore convenienza economica dell'idrogeno. Un veicolo a idrogeno sarebbe anche meno costoso di un'analogo automobile equipaggiata con un *reformer* a metanolo o a benzina. Secondo questo studio, un FCV a metanolo costa fra 550 e 1600 dollari in più di un veicolo dotato di celle a combustibile a idrogeno; un FCV a benzina, fra 1600 e 4500 dollari in più.

Infine, si pone la questione della possibilità di immagazzinare adeguatamente l'idrogeno a bordo di un veicolo circolante. Uno studio pionieristico commissionato dalla California Air Resources Board è giunto alla conclusione che l'idrogeno compresso ha un volume superiore rispetto alla benzina e al metanolo, sicché il suo serbatoio, fra abitacolo e vano portabagagli, occuperebbe uno spazio tale da rendere il veicolo sostanzialmente inservibile. Sandy Thomas, attualmente presidente della H Gen, ribatte che la questione dell'immagazzinamento è già stata risolta dalla Ford, che ha ridisegnato l'auto in modo da accogliere adeguatamente un serbatoio di idrogeno di capacità tale da garantire un'autonomia superiore ai 600 chilometri.

In una relazione del 1999, l'Hydrogen Technical Advisory Panel del Department of Energy degli Stati Uniti concordava con il giudizio espresso da Thomas e collaboratori nel loro articolo sul «Journal of Hydrogen Energy». Sulla questione di garantire un'adeguata scorta di idrogeno a bordo del veicolo, la sua conclusione era che «alloggiare una quantità di gas compresso o liquefatto tale da garantire un raggio operativo accettabile fra due rifornimenti, e senza perdita di spazio per i passeggeri o per i bagagli, non è impossibile, data l'attuale tecnologia di immagazzinamento dell'idrogeno».¹²³

Il medesimo gruppo di lavoro ha anche affermato che «su una base di costo per veicolo - che include quello del veicolo stesso e una quota imputata dell'infrastruttura per il rifornimento di carburante - il costo dell'alimentazione a idrogeno e quello della cella a combustibile con convertitore a bordo diventano confrontabili solo nel momento in cui il numero dei veicoli in circolazione è abbastanza grande da ammortizzare gli impianti di rifornimento».

Nella stessa sede sono state manifestate preoccupazioni circa il fatto che, nel caso in cui l'industria automobilistica optasse per la strategia intermedia di dotare i veicoli di convertitori per trasformare benzina o metanolo in idrogeno, nella speranza di vendere un numero di automobili sufficiente a giustificare economicamente entro un decennio la transizione all'alimentazione a idrogeno con cella a combustibile, «si rischia di bloccare la diffusione dei veicoli alimentati direttamente a idrogeno per diversi decenni, negando così alla società i superiori vantaggi che deriverebbero dall'adozione su vasta scala¹²⁵ dell'idrogeno quale carburante per il trasporto». Fra questi benefici, la totale assenza di emissioni di CO₂ e la diminuzione della dipendenza dalle importazioni di petrolio. Il gruppo di ricerca del Department of Energy concorda con l'articolo pubblicato da Thomas e collaboratori circa il fatto che, nelle prime fasi, piccoli generatori di idrogeno distribuiti sul territorio - sia *steam reformer* collegati alla rete nazionale di gasdotti sia elettrolizzatori collegati alla rete elettrica - potrebbero essere installati presso le stazioni di servizio esistenti per produrre e immagazzinare idrogeno. Suggerisce inoltre che, con la crescita del numero di veicoli a idrogeno in circolazione, potrebbero essere costruiti impianti di produzione di idrogeno di maggiori dimensioni,¹²⁶ collegati alle stazioni di rifornimento attraverso condotte dedicate, da affiancare alla produzione in loco attraverso microimpianti, al fine di soddisfare la maggiore domanda.

Il 12 gennaio 1999, ad Amburgo, la Germania ha inaugurato il primo distributore europeo di idrogeno. Alla

manifestazione ufficiale d'apertura il sindaco della città anseatica, Ortwin Runde, ha invitato i suoi concittadini a immaginare che cosa significherebbe, in termini di qualità della vita, in una metropoli come Amburgo, l'uso esclusivo dell'idrogeno come carburante per i trasporti:

Le strade sarebbero silenziose. Solo il rumore del rotolamento dei pneumatici e il soffio del vento, invece del rombo degli scappamenti. La città sarebbe pulita, perché le emissioni inquinanti sarebbero pressoché ridotte a zero. I pedotraficanti a passeggio sui marciapiedi avrebbero una migliore disposizione d'animo, e i turisti non eviterebbero le strade, rifugiandosi nei locali e nei negozi, potendosi godere limpidi tramonti all'aria aperta.

Amory Lovins e Brett D. Williams, del Rocky Mountain Institute, hanno delineato un approccio in certa misura differente per garantire il rifornimento di idrogeno alle celle a combustibile. Il loro piano prevede di affidarsi a impianti di generazione a celle a combustibile nelle case e negli uffici per fornire l'idrogeno necessario per accelerare le prime fasi della transizione. Lovins e Williams sottolineano che, nei prossimi anni, il numero dei palazzi residenziali e degli uffici che installeranno una centrale elettrogena a celle a combustibile è destinato a crescere. Secondo la loro proposta, questi impianti di generazione potrebbero essere utilizzati, al di fuori dei periodi di punta della domanda di elettricità, per produrre idrogeno. «Si parcheggia la propria Hypercar a cella a combustibile nei pressi dell'ufficio (o della casa) e la si connette sia con la rete elettrica sia con un condotto per il rifornimento di carburante che convoglia l'idrogeno necessario dal convertitore installato nel palazzo.»

Ma, prima che l'idrogeno si diffonda nei trasporti come alternativa ai combustibili fossili, c'è ancora una questione da risolvere: la convinzione, presso l'opinione pubblica, della sua pericolosità. Buona parte dei timori circa l'uso dell'idrogeno risale a un fatto accaduto nel 1937: in quell'anno, a Lakehurst, nel New Jersey, il dirigibile tedesco *Hindenburg* s'incendiò durante la fase d'atterraggio, provocando la morte di trentasei passeggeri. Contrariamente

all'opinione diffusa, lo *Hindenburg* non esplose né la causa dell'incendio fu l'idrogeno. Nel 1997 Addison Bain, già capo del «programma idrogeno» del Kennedy Space Center, ha presentato i risultati di uno studio decennale sull'incidente: secondo le sue ricerche, la causa più probabile dell'incendio fu l'elettricità statica presente nell'aria, che fece scoccare la scintilla, la quale appiccò il fuoco al tessuto di cotone del dirigibile, dopodiché il divampare delle fiamme raggiunse il serbatoio dell'idrogeno. Dunque non fu quest'ultimo la causa del disastro.

Nel corso degli anni, molti studi hanno dimostrato che l'idrogeno non è più pericoloso di altri combustibili. Anzi, in alcune situazioni si potrebbe rivelare addirittura più sicuro, dato che si dissolve rapidamente nell'atmosfera, anziché spargersi sul terreno, come la benzina. Uno studio commissionato dal Bundestag tedesco nel 1993, condotto dall'agenzia tedesca per la valutazione degli effetti delle tecnologie, è giunto alla conclusione che «i rischi tecnici di tutte le componenti di un sistema energetico a idrogeno, dalla produzione all'utilizzo, sono in linea di principio da considerarsi controllabili». Attualmente, gli standard per la sicurezza nella produzione sono quelli elaborati dall'International Organization for Standardization di Ginevra.

Per quante discussioni, equivoci e false partenze ci potranno essere, è opinione diffusa che il decennio in corso vedrà il tramonto del motore a combustione interna e l'alba dell'automobile a idrogeno. Nel gennaio del 2002, al North American International Auto Show di Detroit, la General Motors ha presentato al pubblico un nuovo prototipo di auto a idrogeno, battezzata *Autonomy*. La vettura segna una rivoluzione nel design automobilistico: la snella carrozzeria fantascientifica è modulare e a incastri, sicché il proprietario può cambiarne forma e stile in funzione delle proprie necessità; lo chassis è progettato per una durata superiore ai vent'anni. L'auto è gestita da un software che elimina tutti i sistemi meccanici presenti in una vettura convenzionale, inclusi il motore, la colonna

dello sterzo, i pedali per freni, frizione e acceleratore, e leva del cambio. Queste funzioni sono gestite dal software, governato dal pilota attraverso un unico comando a leva. La GM dichiara che, grazie al numero estremamente ridotto di componenti, il nuovo veicolo a cella a combustibile alimentata direttamente a idrogeno risulterà alla fine più economico e più affidabile di quelli dotati di motore a combustione interna. Nell'autunno 2002, la GM ha presentato al Salone dell'Automobile di Parigi una versione ancor più evoluta della sua vettura a celle a combustibile, la Hy-wire, e si è impegnata a realizzare una produzione seriale di vetture con propulsore a celle a combustibile alimentato a idrogeno e a commercializzarla entro il 2010. Attualmente, l'azienda sta spendendo più di 100 milioni di dollari l'anno per lo sviluppo di una versione di produzione della Hy-wire, e il CEO della società, Richard Wagner, ha affermato più volte che l'obiettivo della casa automobilistica è essere la prima a raggiungere il milione di unità di vetture a celle a combustibile prodotte.

Nella stessa settimana in cui la General Motors presentava il proprio prototipo di vettura a idrogeno, il Department of Energy degli Stati Uniti, con una brusca inversione di rotta, annunciava l'abbandono di un progetto congiunto a lungo termine, con GM, Ford e Daimler-Chrysler, da 1,5 miliardi di dollari, per lo sviluppo di veicoli a benzina a consumi ridotti, in favore di nuovi progetti per lo sviluppo di vetture a idrogeno. Secondo Spencer Abraham, ministro statunitense dell'Energia, il nuovo programma governativo, battezzato *Freedom Car*, è «determinato dall'invito del presidente Bush, contenuto nel nostro Piano energetico nazionale, a ridurre la dipendenza del paese dalle importazioni petrolifere».

Nell'aprile del 2002, poi, il governatore del Michigan, John Engler, ha presentato un piano di sviluppo economico a lungo termine, teso a fare del proprio Stato il leader mondiale nello sviluppo, nella produzione e nella commercializzazione di celle a combustibile alimentate a idrogeno,

nonché di tecnologie, beni e servizi correlati. Engler ha affermato che il suo obiettivo è agire di concerto con le case automobilistiche per garantire che Detroit e lo Stato del Michigan mantengano la propria posizione di preminenza nel settore automobilistico mondiale. Il piano del Michigan, battezzato *NextEnergy*, prevede fra l'altro la costituzione di un NextEnergy Center, quale luogo di scambio per le nuove tecnologie dell'idrogeno, e la creazione della NextEnergy Zone, un campus statale sito su un'area di 280 ettari: due progetti destinati a diventare il fulcro dell'innovazione tecnologica relativa all'idrogeno. Nell'intento di convincere le aziende di tutto il mondo a stabilire i propri centri di ricerca sull'idrogeno all'interno del campus, sono state previste forti agevolazioni fiscali, estese anche al costo del lavoro per l'occupazione creata nella zona.

Il piano prevede inoltre una stretta collaborazione con il sistema scolastico statale per un'adeguata formazione delle prossime generazioni, che dovranno avere le competenze tecniche necessarie per operare ai massimi livelli nella ricerca, produzione e commercializzazione delle tecnologie, dei prodotti e dei servizi legati all'idrogeno.

Il piano del Michigan comprende la creazione di un National Alternative Energy Program, finanziato in parte dal governo federale, con funzione di laboratorio di verifica per la definizione degli standard di settore e dei sistemi di certificazione.

Il governatore ha annunciato l'intenzione dello Stato di esentare da imposte di vendita e di utilizzo gli individui e le istituzioni che acquistino celle a combustibile statiche o montate su veicoli, per incoraggiarne la diffusione e accelerare la transizione all'economia dell'idrogeno. Ha anche affermato che lo Stato collaborerà con le società elettriche di servizio pubblico per creare microreti energetiche alimentate a idrogeno, così da dimostrare la potenzialità dell'idrogeno come vettore di energia.

Engler ha paragonato questo impegno a quello che portò alla nascita della Silicon Valley, centro di irradiazione della

rivoluzione informatica dell'ultimo quarto del ventesimo secolo.

Notando che l'economia dell'idrogeno dovrebbe crescere fino a raggiungere nel 2010 i 100 miliardi di dollari, creando migliaia di nuovi posti di lavoro, il governatore ha dichiarato che il Michigan spera di diventare il centro di riferimento mondiale per la transizione all'era dell'idrogeno.

Anche altri Stati, come la California e l'Ohio, stanno lanciando iniziative per accaparrarsi una quota considerevole dell'emergente mercato dell'idrogeno.

Il balzo in avanti dell'Unione Europea

Nell'ottobre 2002, l'Unione Europea (UE) ha preso tutti di sorpresa. Romano Prodi, presidente della Commissione Europea, l'organismo che governa l'UE, ha dichiarato che l'Europa intende diventare la prima economia completamente integrata e fondata su idrogeno da fonti rinnovabili del Ventunesimo secolo. (L'autore è consulente personale di Romano Prodi e, in questa veste, ha contribuito alla redazione del libro bianco strategico che ha portato all'iniziativa europea sull'idrogeno.)

Dunque, l'UE si è già impegnata nella transizione dalla dipendenza dai combustibili fossili all'energia rinnovabile del futuro. Gli obiettivi europei in tema energie rinnovabili sono i più ambiziosi del mondo: entro il 2010, il 22% dell'elettricità e il 12% di tutta l'energia prodotta nei paesi UE dovrà essere derivata da fonti rinnovabili. L'UE si è resa conto che il sogno di un futuro basato su fonti energetiche rinnovabili è irrealizzabile se non si ricorre all'idrogeno come strumento per l'immagazzinamento dell'energia.

Per rendere possibile un futuro energetico all'idrogeno basato su fonti rinnovabili, l'UE ha costituito un'innovativa partnership pubblico-privato con la comunità delle imprese e la società civile europea. Insieme, i tre settori hanno stabilito un piano operativo per una transizione progressi-

va verso un regime energetico all'idrogeno, e hanno costituito gruppi di lavoro per incentivare la ricerca, lo sviluppo e la commercializzazione delle nuove tecnologie basate su celle a combustibile. L'UE ha anche aumentato considerevolmente il proprio impegno finanziario: da 127 milioni di euro stanziati negli ultimi quattro anni per lo sviluppo di modelli energetici sostenibili a 2,1 miliardi di euro per il periodo 2003-2006.^{W6}

Nell'annunciare il nuovo piano energetico, il presidente Prodi ha sottolineato che la transizione verso l'era dell'idrogeno e la distribuzione decentralizzata dell'energia in tutta Europa rappresentano un passo importantissimo verso l'integrazione europea, dopo il successo dell'introduzione dell'euro: un impegno che egli ha paragonato allo sforzo erculeo realizzato dagli americani¹³⁷ con il programma spaziale degli anni Sessanta e Settanta, che ha portato l'uomo sulla Luna e ha contribuito alla nascita dell'economia high-tech degli anni Ottanta e Novanta. Il presidente Prodi ha ricordato che l'Inghilterra divenne la principale potenza economica dell'Ottocento grazie alla propria superiorità nello sfruttamento di vasti giacimenti di carbone per alimentare i motori a vapore. Analogamente, gli Stati Uniti sono stati la potenza economica dominante del Novecento grazie allo sfruttamento dei propri notevoli giacimenti petroliferi per alimentare i motori a combustione interna. Secondo il presidente Prodi, l'Unione Europea può diventare la superpotenza del Duemila sfruttando l'idrogeno per alimentare celle a combustibile, ed è convinto che il futuro successo dell'Europa dipenda, in misura non irrilevante, anche dalla sua capacità di entrare tempestivamente in una nuova era energetica.

L'iniziativa europea sull'idrogeno ha dato stimolo agli sforzi che le imprese americane stanno compiendo per creare partnership pubblico-private in America. Nell'autunno 2002, un'associazione di imprese americane ha fatto pressione sull'amministrazione Bush affinché il governo federale stanziasse 5,5 miliardi di dollari nei prossimi

dieci anni per le attività di ricerca e sviluppo legate all'idrogeno e alle tecnologie e infrastrutture relative. Nel suo Discorso sullo stato dell'Unione nel gennaio 2003, il presidente degli Stati Uniti George W. Bush ha dichiarato l'impegno della sua amministrazione per la costruzione di un futuro basato sull'idrogeno, prefigurando una serie di proposte per il Congresso, finalizzate a portare gli Stati Uniti all'avanguardia nella corsa all'idrogeno. Il successivo piano energetico presentato al Congresso dalla Casa Bianca e dal Partito repubblicano, però, aveva un orientamento abbastanza diverso rispetto all'agenda promossa dall'Unione Europea. La proposta repubblicana di stanziamenti per il piano energetico prevede di destinare un aumento di 1,7 miliardi di dollari nei prossimi cinque anni ai fondi per le industrie del carbone, del gas naturale e del nucleare per la ricerca e lo sviluppo di tecnologie per l'estrazione dell'idrogeno da queste fonti tradizionali di energia, ma aumenta solo in misura minima i fondi per la ricerca e lo sviluppo di metodologie di produzione dell'idrogeno da fonti rinnovabili. Molti osservatori - soprattutto negli ambienti ecologisti - lamentano che l'amministrazione Bush sta utilizzando l'idrogeno come cavallo di Troia per sostenere gli interessi dei settori a lei vicini dei combustibili fossili e del nucleare, a spese dell'effettivo perseguimento di un futuro fondato sull'idrogeno da fonti rinnovabili. Pare, almeno a individui e a organizzazioni attivi in campo ambientale, che la Casa Bianca abbia deciso di procedere verso un futuro all'idrogeno senza superare un passato fondato sui combustibili fossili.

L'Unione Europea, al contrario, pur essendo consapevole del rilievo che i combustibili fossili continueranno ad avere nel regime energetico dei prossimi decenni, si è impegnata in quella che si potrebbe definire una strategia di percorsi paralleli. Il primo percorso vede l'UE impegnata fin dai prossimi anni nel risparmio energetico, con l'introduzione di severi standard di efficienza energetica per gli autoveicoli e di altre norme tese alla conservazione delle

risorse non rinnovabili, accanto al deciso impegno a rispettare gli obiettivi definiti dal Protocollo di Kyoto sul cambiamento climatico globale. Il secondo percorso vede l'UE impegnata a finanziare e incentivare un rapido sviluppo di tecnologie rinnovabili e delle infrastrutture necessarie per lo sfruttamento e la distribuzione dell'idrogeno, in modo che l'Europa possa progressivamente ridurre la propria dipendenza dai combustibili fossili, gettando simultaneamente le basi per una nuova era energetica.

L'economia dell'idrogeno è ormai all'orizzonte. Quanto rapidamente vi giungeremo dipende dalla nostra determinazione a liberarci del petrolio e degli altri combustibili fossili. Se ci limitassimo a cullare l'idea, prolungando la transizione, nella convinzione che fino alla metà del nuovo secolo vi sarà petrolio a buon mercato sufficiente a soddisfare il nostro fabbisogno, ci potremmo trovare impreparati ad accelerare il passaggio, qualora nei prossimi anni la produzione globale di petrolio dovesse raggiungere il picco. Il processo di costruzione di una nuova infrastruttura a supporto di un'economia dell'idrogeno matura sarà difficile e costoso, ma potrebbe concludersi in meno di un decennio, se sostenuto dall'entusiasmo oltre che da interessi economici sufficienti. Dopotutto, l'infrastruttura dell'economia di Internet e del World Wide Web è stata realizzata, almeno nel mondo occidentale, in meno di due lustri, cambiando radicalmente il modo di operare delle aziende e di comunicare delle persone. Molte delle più importanti riviste di settore prevedono che l'economia dell'idrogeno e la relativa rete energetica mondiale rappresenteranno la prossima, grande rivoluzione nel mondo imprenditoriale. Trasformare queste previsioni in realtà, tuttavia, richiede grande impegno da parte sia delle aziende sia dei governi e la definizione di concrete modalità di realizzazione.

Per la prima volta nella storia, l'uomo ha a portata di mano una forma d'energia talmente universale da spinge-

re i suoi sostenitori a chiamarla il «combustibile perpetuo». Un giorno l'idrogeno diventerà economico e conveniente come i personal computer, i telefoni cellulari, i computer palmari. Quando ciò accadrà, si potrà democratizzare realmente l'energia, rendendola disponibile per tutti gli abitanti del pianeta.

IX

Riglobalizzazione dal basso

Il nostro futuro è nell'idrogeno. Ma chi controllerà il «combustibile perpetuo»? Proprio per la sua universalità, l'idrogeno sembra offrirci la prospettiva, a lungo termine, di democratizzare l'accesso all'energia, rendendola disponibile a ogni essere umano sulla terra. Ma, benché l'opportunità sia reale, non c'è alcuna garanzia che, alla fine, l'idrogeno sarà distribuito uniformemente ed equamente fra tutti. Molto dipende dal «valore» che gli attribuiremo: lo considereremo una risorsa condivisa, come i raggi del sole e l'aria che respiriamo, o come una merce, comprata e venduta in un libero mercato, oppure come una via di mezzo?

La lezione del World Wide Web

Lo «status» che assegneremo all'idrogeno sarà l'elemento che, in ultima istanza, definirà il corso della futura economia basata su di esso, con profonde conseguenze per le istituzioni politiche e sociali che si svilupperanno insieme al nuovo regime energetico. La questione dello status dell'idrogeno ha molti elementi in comune con quella dello status dell'informazione in Internet. I primi sostenitori della rete e del World Wide Web promuovevano con grande passione l'idea che «l'informazione deve circolare liberamente». L'architettura stessa del nuovo mezzo di comunicazione, dichiaravano, favorisce la libera condivisione delle informazioni fra gli individui: in fin dei conti, il World Wide Web non appartiene a nessuno ed è aperto a tutti; ogni com-

puter del mondo è collegato a ogni altro con il solo e semplice scopo di creare una relazione. «L'economia del futuro» dichiarava baldanzosamente il teorico del cibernazio John Perry Barlow «sarà fondata sulle relazioni più che sul possesso.» Secondo la sua argomentazione, contatti e scambi di informazioni fra persone non dovrebbero essere vincolati o sottoposti a tariffe d'accesso, licenze, permessi di qualsiasi natura. I puristi si domandano perché non dovrebbe essere lecito scaricare musica, riprodurla e condividerla in rete, gratuitamente; o perché non si dovrebbe poter copiare un articolo, aggiungere le proprie impressioni e farlo circolare fra amici ed estranei, sempre gratuitamente. La questione di che cosa debba e possa essere considerato libera informazione, e cosa, invece, debba essere soggetto a un pagamento al detentore del copyright o a chi controlla l'accesso, è stata al centro di un acceso dibattito, che si è sviluppato con il crescere di questo nuovo mezzo di comunicazione interattivo globale.

Chi propende per la massima libertà del flusso di informazioni nella rete basa le proprie argomentazioni su alcuni dei fondamenti operativi del Web. In primo luogo, il Web è progettato in modo che ogni utente possa diventare fornitore di contenuti: elimina infatti le vecchie gerarchie centralizzate della comunicazione di massa, in cui l'informazione fluiva a senso unico da enormi organizzazioni per l'offerta di contenuti a singoli utenti passivi. In secondo luogo, dato che il Web è una rete, ci si può impegnare in interazioni sia esclusive, fra singoli, sia collettive. Questo significa, letteralmente, che ogni utente può avere accesso a tutti gli altri. Tale potere individuale di comunicazione non ha precedenti nella storia. Improvvisamente, tutti possono raggiungere tutti, in una sorta di democratizzazione istantanea della comunicazione. Nelle reti distribuite decentralizzate non esiste una sede del controllo e nessuno, almeno in teoria, comanda, sicché tutti possono fare tutto: la sola idea di dover ottenere il permesso da qualche autorità centrale o dal custode di un accesso per comunicare agli altri

utenti le più svariate idee e informazioni contraddice la natura stessa della rete. Ecco, d'un tratto, un mezzo di comunicazione in cui ciascuno può governare il proprio centro. Ogni nodo della rete diventa, così, un palcoscenico per la condivisione della creatività. In breve, l'architettura di Internet offre a ciascuno un immenso controllo potenziale sull'informazione che trasmette e riceve. È quindi facile capire quanto i sostenitori della rete possano sentirsi irritati, e perfino offesi, di fronte alla prospettiva che censori, detentori di copyright e custodi degli accessi possano negare loro la completa libertà d'espressione.

La grande promessa della rete, però, è stata condizionata negativamente, in ogni fase del suo sviluppo, da interessi economici fortemente determinati a conquistare un dominio sul mezzo. Aziende come Microsoft e AOL Time Warner hanno continuamente tentato di addomesticare il World Wide Web per trasformarlo da canale aperto al libero flusso di informazioni e comunicazioni in dominio esclusivo, nel quale registrazione, accesso, *downloading* e invio di informazioni diventano attività a pagamento. Quando Napster e altre *dotcom* hanno cominciato a mettere a disposizione software che permettevano a milioni di persone di copiare e condividere gratuitamente le proprie raccolte di musica - in uno scambio di *files* fra pari - le grandi case discografiche hanno reagito intentando cause legali, affermando che, nel momento in cui la musica è soggetta a un copyright, è necessario pagare i diritti anche per un semplice uso. In tribunale, i colossi dell'industria musicale hanno avuto la meglio, e ora Napster si è reinventata come medium commerciale che offre accesso a un vasto catalogo Bertelsmann Napster dietro sottoscrizione di un canone d'abbonamento mensile, una percentuale del quale viene devoluta alle case discografiche e ai musicisti a compenso dei diritti di riproduzione. Comunque, qualcuno continua a lottare. Sostenendo che la musica deve circolare liberamente, alcuni clandestini del ciber spazio stanno creando nuovi programmi per aggirare la leg-

gè e permettere a chiunque, ovunque sia, di condividere i propri *files* musicali.

La battaglia fra i sostenitori della libertà d'accesso e di condivisione dell'informazione e gli interessi economici che promuovono la privatizzazione e la mercificazione del cyberspazio si combatte in ogni angolo della rete, ma il punto più caldo, quello in cui la posta è più alta, è la condivisione del codice fra gli utenti: il cosiddetto movimento *open-source*. Per esempio, Linux è un sistema operativo distribuito gratuitamente e il codice sorgente è liberamente disponibile a chiunque desideri esaminarlo e modificarlo. Chi l'ha sviluppato condivide il proprio lavoro con chiunque altro, incoraggiando gli utenti in tutto il mondo a collaborare per risolvere i problemi del sistema operativo e ad ampliarne le funzionalità. Se un utente del sistema operativo Linux ha una domanda da porre o un problema da risolvere, può inviare un messaggio a un'apposita pagina Web e, in genere, nel giro di pochi minuti altri utenti lo aiutano a trovare una soluzione. Linux vanta fra 10 e 20 milioni di utenti, ed è il sistema operativo in maggior espansione nel mondo. Alcuni osservatori del settore prevedono che, nel tempo, Linux potrà mettere in discussione il controllo esercitato da Microsoft nel settore dei sistemi operativi.

Sebbene, in anni recenti, abbiano prevalso gli interessi economici, la lotta per il controllo dei contenuti nella rete è ben lungi dall'essere conclusa. La questione di cosa debba essere gratuito e cosa a pagamento continuerà a dominare a lungo il nuovo medium. Nelle reti distribuite, dove ciascuno è potenzialmente produttore, oltre che fruitore, di contenuti, e dove ognuno ha accesso a tutta la rete - il che significherà presto una persona su sei in tutto il mondo -, ci si deve aspettare una lotta senza quartiere fra chi sostiene la libera circolazione dell'informazione e chi pensa di poter esigere una qualche sorta di pedaggio.

È lecito attendersi che anche intorno alla rete energetica dell'idrogeno (HEW) si scateni una battaglia di questo tipo. Si può certamente affermare che, così come deve circolare

liberamente gran parte della comunicazione e dell'informazione che fluisce fra le persone - ma, ovviamente, non *tutta* la comunicazione e l'informazione -, allo stesso modo l'idrogeno dovrebbe essere considerato un bene comune o condiviso, disponibile per tutti. In fondo si tratta dell'elemento fondamentale e più diffuso dell'universo.

Idrogeno come risorsa collettiva

La questione se tanto il pensiero umano quanto la forma più elementare d'energia dell'universo debbano essere considerati risorse liberamente condivise di proprietà collettiva o merci di proprietà privata, va direttamente al cuore di una delle domande che ha maggiormente angustiato l'uomo nel corso della storia: a chi appartiene tutto ciò che costituisce la vita?

Nel tardo Medioevo, fra la Chiesa e la nascente classe mercantile si accese un dibattito: il tempo era un dono universale, e perciò gratuito, o qualcosa che poteva essere posseduto e da cui si poteva trarre profitto sotto forma di interessi? La classe mercantile affermava che «il tempo è denaro» e che l'interesse era una forma legittima di remunerazione a fronte del permesso di utilizzare il denaro del prestatore per un determinato periodo. La Chiesa sosteneva che l'usura era un peccato mortale, e non semplicemente per la sua natura di forma di sfruttamento. Le autorità ecclesiastiche contestavano la legittimità dell'interesse stesso: come poteva un mercante realizzare un profitto vendendo il tempo, si domandavano, se il tempo non apparteneva ad altri che a Dio, che lo donava liberamente all'uomo, in modo che potesse prepararsi alla salvezza? Thomas Chobham scriveva:

L'usuraio non vende al debitore alcunché di suo. Vende solo il tempo, che appartiene a Dio. Dunque, non può trarre profitto vendendo qualcosa che è di proprietà di altri.

Nell'Inghilterra del Cinquecento emerse un secondo, grande dibattito su cosa dovesse restare in comune e cosa

potesse essere reclamato come proprietà privata. Nell'Europa medievale, la terra era considerata un possedimento divino, prestato all'uomo affinché lo dissodasse e lo coltivasse. Sebbene i signori feudali esercitassero sulla terra diritti di proprietà e la concedessero ai contadini secondo diverse formule di fitto, la terra, in sé, non poteva essere facilmente suddivisa, venduta e acquistata. Inoltre, gran parte della terra era di proprietà collettiva e gestita in comune dai contadini. A partire dal Cinquecento, sotto il regno dei Tudor, il Parlamento inglese approvò alcune leggi che permettevano ai proprietari terrieri di recintare le terre collettive, ovvero di acquistarle sotto forma di proprietà privata, cancellando quindi ogni precedente diritto di condivisione collettiva goduto dai contadini. Il grande movimento delle *enclosure*, iniziato in Inghilterra e poi diffusosi in tutto il continente europeo sia pur in forme leggermente diverse, pose fine a seicento anni di feudalesimo, in cui i contadini erano stati legati alla terra. Da quel momento, le grandi proprietà fondiari feudali cominciarono a essere suddivise in porzioni di proprietà privata, in possesso dell'aristocrazia locale e dei contadini benestanti. La terra, un tempo gestita in comune come bene collettivo, fu ridotta a porzioni delimitate di proprietà che potevano essere vendute e acquistate in un libero mercato.

Nel Settecento i governi degli Stati nazionali iniziarono ad appropriarsi dei domini collettivi oceanici, reclamando la sovranità sulle acque costiere entro il limite delle 3 miglia dalla costa: la gittata delle batterie d'artiglieria dell'epoca. Una spinta ancor più aggressiva all'appropriazione degli oceani prese le mosse, alla fine della seconda guerra mondiale, da una dichiarazione del presidente americano Harry Truman che annunciava l'annessione delle acque costiere al territorio degli Stati Uniti, fino a includere «la giurisdizione e il controllo» dei giacimenti di petrolio e di minerali sul fondo della piattaforma continentale. La dichiarazione di Truman scatenò una ridda di analoghe dichiarazioni da parte di altri paesi, ciascuno dei quali vole-

va annettersi la «propria» piattaforma continentale e i banchi di pesca. Nei primi anni Settanta, diciassette nazioni avevano reclamato la sovranità sulle acque costiere, fino a un limite di 200 miglia.

Nel 1982, sotto gli auspici delle Nazioni Unite, venne stilata una convenzione marittima che garantiva alle nazioni firmatarie la sovranità sulle acque costiere entro il limite delle 12 miglia, e diritti economici esclusivi entro il limite delle 200 miglia. Queste zone di esclusiva pertinenza economica danno a ogni Stato «diritti sovrani al fine dell'esplorazione, dello sfruttamento, della conservazione e della gestione delle risorse viventi e inanimate degli oceani, dei fondali e del relativo sottosuolo». La grande espropriazione degli oceani è riuscita a far annettere a diverse nazioni il 36% della superficie marina, che contiene il 90% dei banchi di pesca economicamente sfruttabili e l'87% delle riserve petrolifere che si stimano esistere nel sottosuolo delle piattaforme continentali. Per quanto siano numerose le nazioni che devono ancora ratificarla, la convenzione ha definito i nuovi parametri della sovranità, rendendo passibile di espropriazione gran parte del patrimonio collettivo marittimo.

All'inizio del Novecento i cieli sopra i territori delle nazioni sono stati parcellizzati in corridoi aerei, diventati dominio sovrano dei relativi governi. Questi ultimi, a loro volta, hanno chiesto alle compagnie aeree commerciali un pedaggio per il diritto d'uso di tali corridoi. I governi hanno ulteriormente smembrato il patrimonio collettivo aereo, permettendo alle imprese di acquistare e vendere «diritti aerei» per gli spazi al di sopra delle rispettive proprietà. Negli ultimi anni, a Washington si è acceso il dibattito sulle frequenze radio che costituiscono lo spettro elettromagnetico: devono ancora essere considerate un patrimonio collettivo fiduciarmente gestito dallo Stato e date in concessione a chi vuole sfruttarle, o devono essere vendute ad aziende e trasformate in una «proprietà privata elettronica» passibile di scambio sul mercato globale?

Altrettanto rovente il dibattito sul patrimonio genetico,

eredità di milioni di anni di evoluzione biologica e a lungo considerato patrimonio collettivo: dovrebbe essere privatizzato e trasformato in una proprietà intellettuale delle aziende che si occupano di biologia e biotecnologia? A tutt'oggi gli Stati Uniti e la maggior parte delle nazioni europee hanno dichiarato che i geni e le proteine che li compongono, così come cellule viventi, tessuti, organi, embrioni e specie animali e vegetali, sono potenzialmente brevettabili. Altre nazioni e la maggior parte delle organizzazioni non governative ribattono che il patrimonio genetico è, per sua natura, «condiviso» e perciò, in termini economici o politici, non può essere ridotto a proprietà.

E cosa dire del pensiero? Dovrebbe essere venduto come una merce o liberamente condiviso come patrimonio collettivo? Prima dell'era moderna, la sola idea di poter possedere un pensiero, o di dover corrispondere denaro per ascoltare o utilizzare l'idea di un altro, sarebbe stata considerata una bizzarria. Nelle culture orali, per esempio, le idee e i racconti trasmessi di bocca in bocca erano modificati e alterati a ogni successivo passaggio, e nessuno ne poteva reclamare la proprietà. Solo con l'introduzione della stampa divenne possibile possedere le idee e reclamare sul pensiero diritti di proprietà. Oggi, dichiarano i sostenitori della libera condivisione, le nuove tecnologie informatiche - computer, software e il World Wide Web - rendono la comunicazione più simile a quella tipica delle culture orali, permettendo una partecipazione collettiva alla condivisione delle idee e del pensiero più genuina di quanto fosse possibile nell'epoca della stampa e dei mezzi di comunicazione di massa.

E cosa dire dell'uso dell'idrogeno distribuito in una rete energetica dell'idrogeno? Dobbiamo considerarlo un bene pubblico di cui usufruire collettivamente, o una risorsa privata soggetta alle leggi del profitto e del mercato? Oppure una combinazione intermedia? Ovviamente, se l'idrogeno si trovasse libero e ovunque in natura, come l'aria che respiriamo, e perciò fosse immediatamente disponibile senza

costo alcuno, lo considereremmo un bene pubblico gratuito. Ma l'idrogeno non esiste in natura in una forma facilmente sfruttabile: deve essere estratto da qualcos'altro - come un combustibile fossile, una biomassa, o l'acqua - e utilizzato per alimentare una cella a combustibile in modo che generi elettricità.

Così, benché l'idrogeno si trovi ovunque e non sia, quindi, una risorsa scarsa, solo la creatività dell'uomo può estrarlo dal suo ambiente e sfruttarlo al fine di generare energia. Il processo di estrazione richiede un investimento di tempo, lavoro e capitale; altrettanto dicasi per l'immagazzinamento e l'utilizzo. Ma con il progressivo abbattimento del costo di produzione di energia dall'idrogeno, come già sta accadendo, il suo carattere di bene pubblico si accentua, dal momento che, a differenza dei combustibili fossili, è uniformemente disperso nell'ambiente in quantità illimitate. È possibile immaginare un futuro, forse fra non più di cent'anni, in cui il costo di produzione di quantità illimitate di idrogeno sarà virtualmente nullo. Tutte le fonti d'energia non rinnovabili, come i combustibili fossili, hanno un andamento conforme alla classica curva a campana di Hubbert: dapprima il loro processo di manipolazione è dispendioso, poi, con l'affinamento di tecnologie sempre meno costose, diventano via via più convenienti, per tornare a essere progressivamente sempre più care nel momento in cui le riserve iniziano a scarseggiare. La produzione dell'idrogeno, invece, può essere descritta da una linea retta che sale all'infinito. Questo significa che il suo costo di produzione continua a calare e che, tra un po' di tempo, gli unici costi rilevanti saranno quelli relativi alla manutenzione e al miglioramento delle reti energetiche intelligenti attraverso cui l'idrogeno fluisce nel mondo.

I costi di produzione dell'idrogeno continueranno a diminuire, fin quasi ad azzerarsi, trasformandolo in una risorsa «pressoché» gratuita, ma le reti intelligenti in cui fluisce sono costose da costruire e mantenere in funzione. Per questo dobbiamo pensare seriamente, fin dall'inizio dell'e-

lità dell'idrogeno, al tipo di organizzazione istituzionale più adatta a riflettere il carattere della fonte di energia che utilizzeremo. La HEW e l'economia dell'idrogeno costruita su di essa richiedono un nuovo tipo di disegno architettonico che intrecci pubblico e privato, modalità di gestione a scopo di lucro e no-profit in una relazione simbiotica che rispetti la duplice natura del nuovo regime energetico.

democratizzazione dell'energia

I primi sforzi per democratizzare il flusso dell'informazione nel World Wide Web hanno avuto un certo successo, annullato poi, come detto, dal potere di aziende che controllano l'accesso alla rete, come AOL. Il movimento della *network community* si diffuse negli Stati Uniti alla fine degli anni Ottanta e nei primi anni Novanta per incoraggiare una maggiore partecipazione alla vita delle comunità che servivano: le cosiddette *free-net* offrivano un accesso gratuito alla rete, come incentivo al coinvolgimento; le reti non erano commerciali, non avevano pubblicità e non richiedevano tariffe di sottoscrizione, *he free-net* contribuirono a diffondere fra il pubblico la conoscenza e l'uso di Internet, e attirarono un gran numero di «pionieri» per la sola ragione che erano gratuite. Purtroppo, i contenuti delle reti comunitarie erano sovente dispersi e disorganici, e non riuscivano a conquistare l'interesse dell'utente on-line. Nel frattempo, aziende come AOL cominciarono a riempire il vuoto, offrendo un accesso al Web facile e a buon mercato, oltre a un apparato di contenuti più coinvolgente e divertente. Molte migliaia di reti Internet di comunità sono state dismesse; solo poco più di un centinaio sono ancora attive e, in qualche caso, godono di un discreto successo.

Oggi, nel Web, hanno cominciato a fiorire le comunità basate sull'interesse, più che quelle fondate sul territorio. Le organizzazioni della società civile (CSO), in particolare, utilizzano la rete come strumento per far confluire interessi coincidenti in uno sforzo comune negli ambiti più dispa-

rati, dalla riforma agraria ai diritti degli animali, dalla giustizia sociale ai diritti umani, dalle riforme economiche alla questione femminile, dalla salute pubblica all'arte. La «democratizzazione dell'informazione» sta trovando un proprio posto nel World Wide Web, grazie alle comunità di interesse, che condividono attraverso la rete idee, attività e azioni volte a scopi sociali e all'accumulazione di capitale sociale. E interessante notare come il Web sia diventato un potente forum globale per la costruzione di comunità, pur essendo caduto in preda agli interessi economici ed essendo stato ridotto, almeno in parte, a strumento nelle mani delle aziende. A tutti gli effetti, il Web è diventato un mezzo di comunicazione ibrido, tanto sociale quanto commerciale, parzialmente espropriato, mercificato e privatizzato, e parzialmente aderto, attivo come una sorta di vasto patrimonio collettivo sociale per la libera condivisione di idee e interessi.

Nelle primissime fasi di sviluppo, la generazione distribuita e la HEW si trovano in una condizione analoga a quella di Internet alla fine degli anni Ottanta. Il modo in cui nei prossimi cinque anni, quelli del decollo, si strutturerà la generazione distribuita, probabilmente determinerà l'infrastruttura energetica che nei prossimi dieci o quindici anni si evolverà, per giungere poi a maturazione.

La prima cosa da tenere a mente è che, con la generazione distribuita, ogni famiglia, impresa, quartiere, comunità del mondo diventerà potenzialmente produttore, venditore e consumatore di idrogeno ed elettricità. Dato che le celle a combustibile sono distribuite geograficamente nei luoghi in cui l'idrogeno e l'elettricità sono prodotti e, almeno in parte, consumati, con il surplus di idrogeno venduto come combustibile e di elettricità distribuita attraverso la rete elettrica, la capacità di aggregare in associazioni grandi masse di produttori-utenti sarà fondamentale al fine dell'abilitazione energetica e dello sviluppo di una visione democratica dell'energia.

L'aggregazione della generazione distribuita ha molto

in comune con quella dei lavoratori nei primi movimenti sindacali all'inizio del Novecento. Da soli, i singoli lavoratori dell'industria erano troppo deboli per negoziare con il management delle aziende i termini del proprio contratto di lavoro. Soltanto organizzandosi collettivamente all'interno delle fabbriche e degli uffici, o in interi settori produttivi, potevano accumulare sufficiente potere per confrontarsi con le aziende. La capacità di astenersi collettivamente dal lavoro, lo «sciopero», ha rappresentato per i lavoratori un'arma potente nella battaglia per ridurre la settimana lavorativa, migliorare le condizioni di lavoro e incrementare tanto i salari quanto i benefici aggiuntivi.

Organizzandosi collettivamente in associazioni di generazione distribuita (DGA), i partecipanti possono contrattare con maggior forza le condizioni per l'affitto o l'acquisto delle celle a combustibile, o altri accordi d'uso, con le società fornitrici. La capacità delle DGA di aggregare singoli gestori e utenti di celle a combustibile in impianti virtuali di generazione di grande potenza garantisce un maggior potere nei confronti di quei fornitori di pacchetti di servizi energetici (che abbiano o meno scopo di lucro) che contribuiranno a gestire e coordinare il flusso di idrogeno ed elettricità verso i potenziali clienti collegati alla rete energetica.

È improbabile che le DGA possano trasformarsi in aziende che sviluppano, producono e commercializzano celle a combustibile e altri apparati necessari per la generazione distribuita, anche se potrebbero partecipare a joint-venture o a consorzi d'acquisto e assicurarsi posti nei consigli di amministrazione delle società energetiche. Più probabilmente, nelle prime fasi della costruzione di HEW a livello locale, regionale e globale, le DGA costituiranno partnership con le società energetiche esistenti per due ragioni: perché le società di generazione e di distribuzione controllano le infrastrutture dell'attuale rete elettrica, e perché hanno esperienza nell'agire come «impianti di generazione virtuali» per il coordinamento del flusso di energia e di servizi energetici nella rete.

Le società energetiche dovranno scendere a patti con la realtà di milioni di operatori locali che generano elettricità da celle a combustibile autonome in grado di produrre energia con maggiore convenienza e in maggiori volumi rispetto agli attuali impianti di generazione. Quando l'utente finale diventa anche produttore della propria energia, l'unica funzione che rimane a chi gestisce gli attuali impianti di generazione è quella di diventare un «generatore virtuale» che produce e commercializza celle a combustibile, fornisce pacchetti di servizi energetici e coordina il flusso di energia nell'infrastruttura di distribuzione.

Dalla teoria alla prassi

Sono molte le strutture economiche esistenti che possono contribuire a creare e consolidare le DGA. Negli Stati Uniti, per esempio, le *community development corporation* (CDC), le *credit union* e le società di servizi pubblici; in altri paesi occidentali, il sistema delle cooperative è forse quello più idoneo a favorire la nascita e il rafforzamento delle DGA; nei paesi in via di sviluppo, le cooperative di villaggio, in collaborazione con le banche di microcredito e i programmi di prestiti e finanziamenti elaborati dai governi locali e dalle organizzazioni internazionali, potrebbero costituire proprie DGA. In ogni caso, si tratta di organizzazioni senza scopo di lucro o di enti pubblici responsabili nei confronti dei propri membri o, nel caso delle società di servizio pubblico, dei cittadini. Se, per la creazione delle DGA, si ricorresse a modelli no-profit, la nuova economia dell'idrogeno prenderebbe le mosse da un chiaro riconoscimento della natura semipubblica dell'energia dell'idrogeno e delle reti di generazione distribuita, cioè del nuovo regime energetico.

Sfruttare i modelli organizzativi del terzo settore per creare le DGA e una nuova infrastruttura energetica per il ventunesimo e ventiduesimo secolo avrebbe anche, come secondo effetto, quello di promuovere un adeguato approccio istituzionale decentralizzato, dal basso verso l'ai-

to, al nuovo regime energetico, che potrebbe diventare il modello di riferimento per le molte altre strutture economiche, sociali e culturali che nasceranno con l'economia dell'idrogeno.

Negli Stati Uniti, le CDC esistono da più di trent'anni e sono uno dei possibili modelli organizzativi cui ispirarsi per la creazione delle DGA. Si tratta di organizzazioni senza scopo di lucro, generalmente costituite in aree e comunità urbane povere - anche se non mancano esempi di CDC rurali -, la cui missione è stimolare lo sviluppo economico e garantire ai membri della comunità più controllo e potere sul proprio destino. Nel 1967 il senatore Robert Kennedy, coinvolto personalmente nella creazione della prima CDC a Bedford Stuyvesant, un quartiere di⁹Brooklyn, a New York, considerava le CDC come strumenti per combinare «tutti i vantaggi dell'attività collettiva con tutti i vantaggi dell'iniziativa imprenditoriale privata». Attualmente negli Stati Uniti sono attive fra le tre e le quattromila CDC.¹⁰ In parte sono finanziate da fondi dei governi federale, statale e locale; in parte, da fondazioni e aziende. E sono governate da un consiglio d'amministrazione composto prevalentemente da membri della comunità servita dall'organizzazione.

Nei primi anni della loro storia le CDC si sono perlopiù concentrate nella costruzione di abitazioni a prezzi accessibili, realizzando oltre mezzo milione di unità immobiliari. Oggi hanno esteso le proprie attività a un'ampia gamma di iniziative economiche. Per esempio, a Newark, in New Jersey, la New Community Corporation possiede una quota corrispondente a due terzi del capitale di un supermercato Pathmark e di un centro commerciale, gestisce centri di assistenza diurna, ospizi per anziani, un ambulatorio medico, un ristorante, un giornale e una cooperativa di credito. Con un patrimonio immobiliare valutato in 500 milioni di dollari e un fatturato annuo di 200 milioni di dollari, la CDC di Newark è l'organizzazione privata con il maggior numero di dipendenti residenti nella zona.¹²

In quasi tutte le maggiori centotrentatré città degli Stati Uniti è attiva almeno una CDC. Grazie al loro profondo radicamento nell'edilizia popolare e nel settore degli immobili commerciali in alcune delle aree più povere della nazione, le CDC sono nella posizione ideale per mobilitare i piccoli proprietari di case e le imprese locali per l'acquisto o l'affitto di sistemi di generazione distribuita e per la creazione di DGA.

Finanziare l'acquisto oppure l'affitto di celle a combustibile per le abitazioni e le imprese potrebbe essere, almeno in parte, un compito per le *community development credit union* (CDCU). Attualmente, negli Stati Uniti sono attive circa millecinquecento CDCU garantite dal governo federale. Le CDCU sono organizzazioni cooperative senza scopo di lucro in cui i correntisti sono anche soci. Queste istituzioni, radicate nella comunità, gestiscono servizi bancari tradizionali, come depositi a risparmio e conti correnti, ma anche mutui ipotecari per comprare o ristrutturare case, nonché prestiti per l'acquisto dell'auto. La funzione delle CDCU è offrire credito a condizioni vantaggiose a lavoratori e famiglie a basso reddito, gestire servizi finanziari nei quartieri poveri e nelle aree disagiate, e impiegare i depositi nella comunità locale che li ha generati. La concessione di prestiti a fronte dell'acquisto di celle a combustibile rientrerebbe nello scopo istituzionale delle CDCU, che è l'accrescimento del capitale sociale della comunità in cui operano.

Anche le società di pubblico servizio di proprietà pubblica (POU) potrebbero avere una funzione nella costituzione di associazioni di generazione distribuita. Le prime POU nacquero negli Stati Uniti più di un secolo fa per produrre energia elettrica, soprattutto in quelle regioni rurali del paese trascurate dalle società elettriche private, convinte che la dimensione del mercato locale non giustificasse l'investimento. Oggi, un americano su sette - 40 milioni di persone - riceve elettricità da una delle duemila società elettriche di proprietà pubblica attive in comunità sia rurali che

urbane. Le POU detengono il 12% della capacità di generazione del paese. Sebbene i tre quarti delle POU servano comunità con meno di 10.000 abitanti, alcune delle maggiori città del paese, come Los Angeles, Sacramento, San Antonio, Nashville, Jacksonville e Memphis, vengono rifornite di energia elettrica da aziende municipalizzate. Le POU, in quanto istituzioni pubbliche senza scopo di lucro, offrono per tradizione un servizio di qualità a tariffe inferiori rispetto alle società private di servizio pubblico: le utenze residenziali allacciate a una rete POU pagano in media il 30% in meno rispetto a quelle servite da società private; nel complesso, utenze aziendali e residenziali rifornite da una compagnia elettrica privata pagano in media il 9% in più. Ora, solo il 20% di tale vantaggio tariffario è dovuto a esenzioni fiscali, il resto dipende da una migliore efficienza e da una gestione più oculata.

Le società energetiche di proprietà pubblica, un tempo in declino, stanno vivendo una sorta di piccolo rinascimento, dal momento che gli utenti, sia privati che commerciali, sono stanchi di blackout, variabilità del servizio e aumenti di tariffe. Negli ultimi vent'anni sono state costituite quarantacinque nuove aziende energetiche municipalizzate, ventitré delle quali sono nate in comunità servite, in passato, da società elettriche private.

Per una società energetica a capitale e gestione pubblici, in quanto istituzione senza scopo di lucro al servizio di un'intera comunità, sarebbe più facile mobilitare i propri clienti per dare vita a un'associazione di generazione distribuita, dapprima come supporto d'emergenza all'esistente sistema di generazione e distribuzione, in seguito come fonte d'energia alternativa. Le POU potrebbero acquistare e installare «gratuitamente» celle a combustibile presso le abitazioni e le sedi aziendali degli utenti, configurando un accordo in forza del quale l'eccesso d'energia prodotto al di fuori degli orari di punta possa essere ceduto alla rete in cambio di un corrispettivo accreditato sulla bolletta elettrica dell'utente. Così, le POU potrebbero ven-

dere l'energia in eccesso a utenti di altre reti locali, ripagandosi i costi d'acquisto e installazione delle celle a combustibile presso i consumatori e quelli di manutenzione della relativa rete.

C'è un'altra istituzione americana che, pur non essendo no-profit, potrebbe avere un ruolo importante nel diffondere la generazione distribuita e nel gettare le basi per una rete energetica condivisa nazionale. Oggi, oltre 30 milioni di americani - il 12% della popolazione - risiedono in uno dei 150.000 *common interest development* (CID). Chi risiede in un CID possiede la propria unità immobiliare e una quota della proprietà di «aree comuni» che comprendono giardini, parchi, strade, parcheggi, campi da tennis, piscine e centri ricreativi. Ogni proprietario appartiene a un'associazione condominiale e paga, mensilmente o annualmente, per la gestione e la manutenzione delle strutture comuni.

Ogni anno si costituiscono quattro-cinquemila nuovi CID. Se l'attuale tasso di crescita rimanesse costante - ma ci sono tutti i segnali di un incremento nei prossimi vent'anni -, i CID potrebbero addirittura rivaleggiare con le amministrazioni locali, come nota Robert H. Nelson, un economista dell'US Department of Interior.

Prima della costruzione, i responsabili dei CID potrebbero contattare le società energetiche locali per installare gratuitamente in ogni unità immobiliare celle a combustibile collegate con la rete di distribuzione, in cambio di un accordo sulla base del quale l'elettricità generata in eccesso venga ceduta alla rete a una tariffa privilegiata, per coprire i costi sostenuti dalla società elettrica per la fornitura delle celle e la gestione della rete. In alternativa, un impianto di generazione virtuale indipendente potrebbe finanziare l'acquisto e l'installazione delle celle a combustibile, in cambio di un contratto a lungo termine con l'associazione condominiale per la gestione del flusso d'energia generata in eccesso verso la rete di distribuzione principale. I CID esistenti potrebbero decidere di dotarsi di generatori d'emergenza, pagandoli con le quote annuali degli associati, per garanti-

re la fornitura di elettricità anche in caso di sospensione del servizio elettrico. Il generatore e gli altri apparecchi necessari non solo si ripagherebbero automaticamente, ma potrebbero costituire una fonte di guadagno per il CID, se il surplus di energia venisse ceduto alla rete durante i periodi di picco della domanda.

A livello mondiale, le cooperative sono il veicolo meglio organizzato per la costituzione e la diffusione delle DGA. La nascita del movimento cooperativo viene fatta risalire all'Ottocento e, in particolare, a ventotto commercianti di Rochedale, in Inghilterra, che, stanchi di pagare i prezzi esosi imposti dai grossisti locali, si consorziarono per acquistare generi alimentari in blocco a prezzi ribassati e per rivenderli ai propri clienti a prezzi inferiori rispetto a quelli correnti. Questo consorzio, il Rochedale Equitable Pioneers Society, si dotò di uno statuto - passato alla storia come i *Rochedale Principles* - che continua a essere utilizzato, anche se in forma leggermente modificata, da tutte le cooperative del mondo. Secondo l'International Cooperative Alliance (ICA), con sede a Ginevra, i principi cooperativistici comprendono l'universalità della qualifica di associato, la partecipazione democratica, l'equa distribuzione delle risorse, l'autonomia, la formazione, la cooperazione fra cooperative, l'impegno per la comunità. L'ICA è formata da 330 membri, in rappresentanza di 750.000 cooperative di consumo e di produzione attive in cento paesi, con un numero totale di associati superiore ai 730 milioni.

Il settore imprenditoriale statunitense ama pensare che l'economia americana sia gestita quasi esclusivamente da aziende private. Ebbene, non è affatto così. Negli Stati Uniti sono attive più di 48.000 cooperative, con un giro d'affari annuale superiore ai 125 miliardi di dollari. Secondo la National Cooperative Business Association (NCBA), più di 75 milioni di americani utilizzano i servizi finanziari delle *credit union*, 50 milioni hanno sottoscritto polizze assicurative emesse da società cooperative o affiliate a cooperative, e 34 utilizzano elettricità a prezzo di costo, fornita da eoo-

perative elettriche rurali. Le cooperative offrono anche una copertura assicurativa sanitaria a 1,4 milioni di persone, e sono più di un milione le famiglie iscritte a cooperative. E anche famosi marchi nazionali come Ace Hardware, Land O'Lakes, ShopRight, Ocean Spray, Sunkist e REI sono cooperative.

Le cooperative sono così diffuse perché permettono a un'aggregazione di singoli produttori o consumatori di trattare con i propri fornitori da una posizione di maggior forza. I produttori, in particolare, possono mettere in comune risorse finanziarie e ripartire i rischi, oltre che creare canali di distribuzione e di commercializzazione più efficaci. Le cooperative offrono inoltre ai propri membri un maggior senso di partecipazione e di controllo. «Un socio, un voto» è ancora il principio gestionale generale vigente nelle cooperative, laddove nelle imprese private il numero di voti è determinato dalla quantità di azioni sottoscritte.

In molti paesi le cooperative sono fra le imprese più grandi e potenti. Mondragon, in Spagna, è un consorzio di centosessanta aziende di proprietà dei lavoratori che operano in diversi paesi, con un fatturato annuo complessivo superiore ai 5 miliardi di dollari e un patrimonio superiore a 710 miliardi (nel 1999). In Italia ci sono più di duecentocinquanta cooperative no-profit di lavoratori, in grande prevalenza di dimensione artigianale, piccola o media. Il Cooperative Group del Regno Unito comprende più di millecento negozi di generi alimentari, una cooperativa assicurativa, una cooperativa agricola, la maggiore società di pompe funebri del paese, una cooperativa di consumo che produce con marchio proprio e gestisce oltre mille novencento punti vendita, la quarta maggiore agenzia di viaggi e cinquantasette centri oftalmici. La cooperativa di consumo giapponese ha 19 milioni di membri, il 20% delle famiglie della nazione.

Grazie ai loro 730 milioni di membri in cento paesi, le cooperative potrebbero contribuire ad aprire la strada all'economia dell'idrogeno, costituendo associazioni di ge-

nerazione distribuita in migliaia di comunità. Poiché le cooperative sono già largamente organizzate su base geografica, aggregando singoli produttori e consumatori in un'istituzione partecipativa e senza scopo di lucro, possiedono tutti i requisiti di una rete energetica a generazione distribuita: sono dotate di una struttura organizzativa governata dal basso, adatta a sostenere un'infrastruttura energetica decentralizzata e anch'essa governata dal basso, ed essendo caratterizzate da una forma di controllo democratica, faciliterebbero la democratizzazione dell'energia nella nuova era dell'idrogeno.

Negli Stati Uniti Touchstone Energy, un consorzio nazionale di cinquecentocinquanta cooperative elettriche di proprietà degli utenti, che fornisce elettricità a 16 milioni di clienti in trentanove Stati, ha istituito per la prima volta un network nazionale che connette le varie cooperative elettriche. Il nuovo network acquista spazi pubblicitari su televisioni e giornali, offre alle cooperative consorziate servizi di gestione delle bollette e dei flussi d'energia, oltre a *cali center* che permettono alle cooperative di condividere risorse nelle diverse zone geografiche, offrendo copertura agli utenti ventiquattr'ore su ventiquattro. Questi network nazionali possono essere utilizzati per creare consenso presso l'opinione pubblica sulle questioni della generazione distribuita e della creazione di una rete energetica dell'idrogeno.

L'Energy Cooperative Development Program, recentemente organizzato e gestito dalla California Energy Commission, è uno dei molti prototipi di nuova organizzazione che può contribuire a diffondere le DGA nel paese. L'obiettivo del programma è aiutare i consumatori a organizzarsi in cooperative energetiche, collegandosi in network a livello regionale o nazionale. I primi destinatari delle attività del programma sono le piccole imprese industriali, commerciali e agricole, gli utenti residenziali a medio e basso reddito, i lavoratori agricoli stagionali, gli affittuari e i pensionati a reddito fisso, oltre ai nativi americani e alle altre minoranze la cui lingua madre non è l'inglese.³¹

In California e a New York sono già state costituite due cooperative elettriche di utenti, i cosiddetti «servizi pubblici senza rete». La California Electric Users Cooperative è una federazione di diciotto cooperative agricole che hanno sottoscritto un contratto di fornitura elettrica a servizio completo con la New West Energy di Phoenix, in Arizona. L'accordo è il primo del suo genere nel settore elettrico. La 1^a Rochedale Cooperative Group Inc. di New York è la prima cooperativa di utenti elettrici che serve una grande città degli Stati Uniti. Alla metà degli anni Novanta, nella città di New York le aspettative di un aumento delle tariffe elettriche erano più elevate che nel resto del paese, la fornitura elettrica costituiva una delle maggiori voci di costo per le cooperative di abitazioni e la ristrutturazione del settore elettrico offriva nuove opportunità per iniziative indipendenti. Così, la 1^a Rochedale, grazie alla consulenza della National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), creò un consorzio di mutuo interesse. Oggi, la 1^a Rochedale acquista energia all'ingrosso, con cospicui risparmi, per 50.000 appartamenti di New York. Se molte delle 500.000 famiglie newyorkesi residenti in abitazioni realizzate in cooperativa aderissero alla 1^a Rochedale, questa diventerebbe una protagonista nel mercato elettrico nazionale e un modello per iniziative analoghe in altre città e regioni. La 1^a Rochedale ha già compiuto il primo passo verso la generazione distribuita e la creazione di una rete energetica. La sua iniziativa, denominata «Green Apple», promuove infatti tanto l'uso di un'energia sostenibile quanto il ricorso alla generazione distribuita.

A Chicago la neonata Community Energy Cooperative ha aderito a un progetto pilota dell'Electric Power Research Institute (EPRI) per fornire impianti di generazione distribuita a diverse famiglie nell'area di Chicago: mini-impianti a cella a combustibile vengono installati nelle abitazioni per soddisfare il fabbisogno dei residenti. Secondo Dan Restler, responsabile regionale dell'EPRI per la generazione distribuita, questa pionieristica iniziativa «è un passo

avanti verso microreti decentralizzate in cui le comunità possano essere parzialmente servite da fonti di dimensione domestica, o poco più grandi».

La Community Energy Cooperative è nata da un'idea del Center for Neighborhood Technology, un'organizzazione no-profit di Chicago dedita alla creazione di comunità sostenibili. La cooperativa è stata lanciata con l'aiuto di ComEd, una società di servizio pubblico con sede a Chicago e una delle maggiori aziende elettriche del paese, che ha offerto un finanziamento di tre anni per l'avviamento, contribuendo a far decollare l'iniziativa. La cooperativa sta istruendo i propri aderenti sul modo di ridurre i consumi di elettricità nelle ore di punta e ComEd, a sua volta, corrisponde pagamenti alla cooperativa a fronte dei risparmi energetici realizzati. Una parte di questo denaro viene utilizzata dalla cooperativa per offrire ai suoi membri a prezzo scontato elettrodomestici e tecnologie a elevata efficienza energetica (che, nel prossimo futuro, comprenderanno anche sconti sull'acquisto, l'affitto e l'installazione di generatori a cella a combustibile presso la casa o la sede del socio), la restante per finanziare programmi destinati ai giovani e all'infanzia, l'apertura di centri per anziani e altre iniziative a favore della comunità. Entro il 2003 la cooperativa si aspetta di investire in questi settori oltre un milione di dollari dei guadagni derivanti da risparmi energetici.

L'iniziativa comune della Chicago Energy Cooperative²⁶ di ComEd e dell'EPRI è esemplare del tipo di partnership che probabilmente si costituirà in futuro fra compagnie elettriche e cooperative o altre organizzazioni no-profit. Per esempio, in alcune delle maggiori città degli Stati Uniti, come Washington, DC, e Philadelphia, sono già allo studio progetti per fondare cooperative energetiche simili a 1 Rochedale e alla Community Energy Cooperative di Chicago.

Molti elementi strutturali necessari per rendere fattibile una HEW sono già esistenti negli Stati Uniti e in molti altri paesi. Se l'attuale struttura energetica sarà sempre più e-

sposta a guasti, interruzioni di servizio e blackout, e se le tariffe dell'energia elettrica continueranno ad aumentare, ci si può aspettare che nuovi soggetti - soprattutto cooperative no-profit, aziende energetiche municipali, associazioni di quartiere, *community development corporation*, cooperative di credito e *common interest development* - sfruttino l'occasione per creare collaborazioni, sia fra loro sia coinvolgendo aziende del settore, per dare vita ad associazioni per la generazione distribuita, cominciando a costruire la rete energetica dell'idrogeno.

Offrire l'accesso ai poveri 38

Il 65% della popolazione terrestre non ha mai usato il telefono, e circa un terzo non ha accesso all'elettricità o ad altre forme moderne d'energia. La disparità fra i connessi³⁸ e i disconnessi è profonda e minaccia di diventarlo ancor di più nel prossimo mezzo secolo, anche a causa dell'atteso aumento della popolazione da 6,2 a 9 miliardi di persone. Gran parte di questo prospettato incremento della popolazione si avrà nel mondo sottosviluppato, dov'è concentrata la povertà.

Per quanto molti americani benestanti continuino a lavorare coltivando l'illusione che in tutto il mondo la differenza fra ricchi e poveri si stia riducendo grazie ai costanti progressi della scienza, della tecnologia e dell'economia, è vero proprio il contrario. Più di cento paesi - con una popolazione complessiva di 1,6 miliardi di persone - sono soggetti a un declino economico e ottanta versano in³⁹ condizioni, valutate in termini di reddito pro capite, peggiori di quelle di dieci anni fa. In Africa, una famiglia media consuma il 20% in meno rispetto a venticinque anni fa. L'Organizzazione internazionale del lavoro stima che, attualmente, un terzo dei lavoratori di tutto il mondo sia sottoccupato o disoccupato.

La povertà è una realtà presente in ogni angolo della terra. Oggi, 600 milioni di persone sono senza casa, o abi-

tano in alloggi malsani, e la Banca mondiale stima che entro il 2010 gli individui che vivranno senz'acqua potabile o servizi igienici saranno 1,4 miliardi. Oggi, il 20% più ricco della popolazione mondiale consuma l'86% di quanto globalmente prodotto, mentre il 20% più povero deve accontentarsi dell'1,3%. Ancor più incredibilmente, secondo uno studio condotto dall'United Nations Development Program, i 358 individui più ricchi del pianeta detengono una ricchezza complessiva superiore al reddito annuo di circa la metà della popolazione mondiale.

La mancanza di un accesso all'energia, soprattutto all'elettricità, è un fattore chiave del perpetuarsi della povertà nel mondo. Accedere all'energia significa avere più opportunità economiche. In Sud Africa, per esempio, per ogni cento famiglie allacciate alla rete elettrica si creano da dieci a venti nuove imprese. L'elettricità libera l'uomo dai compiti quotidiani e ripetitivi legati alla sussistenza: nei paesi più poveri di risorse la necessità di trovare legna o sterco a sufficienza per riscaldare una casa o cucinare un pasto può impegnare per diverse ore al giorno. L'elettricità fornisce l'energia necessaria per far funzionare utensili agricoli, gestire piccole attività produttive e artigianali, per illuminare case, scuole e botteghe.

Come detto, la quantità di energia consumata pro capite è, storicamente, una sorta di cartina di tornasole della capacità dell'uomo di progredire oltre la pura sopravvivenza. Oggi, il consumo pro capite di energia nei paesi in via di sviluppo e quello mondiale medio sono soltanto, rispettivamente, un quindicesimo e un quinto di quello degli Stati Uniti.

Nella sua analisi del rapporto fra classi sociali e consumo di energia, Chauncey Starr, presidente emerito dell'Electric Power Research Institute (EPRI), osserva che al di sotto di una determinata soglia critica di reddito annuo e consumi energetici, l'uomo è costretto a dedicare gran parte della propria attività quotidiana alla mera sopravvivenza: trovare un riparo, cibo a sufficienza, acqua potabile. Nel momen-

to in cui riesce a garantirsi un'occupazione minima e un accesso all'elettricità, l'individuo progredisce rapidamente a una «qualità minima della vita» che comprende alfabetizzazione, igiene, sicurezza fisica, e un'attesa di vita più lunga. Con la progressiva crescita del reddito annuo e dei consumi elettrici, l'individuo conquista uno stile di vita in cui cominciano a essere presenti elementi «voluttuari», come l'istruzione, il divertimento e l'investimento intergenerazionale. Al gradino più alto della scala sociale, che Starr definisce «collaborazione internazionale», si trovano coloro che godono di un accesso illimitato all'energia elettrica e possono creare comunità d'interesse realmente globali per dimensione. Il problema è che, nei prossimi cinquantanni, più del 90% della popolazione mondiale rientrerà nelle categorie sociali della «sopravvivenza» e della «qualità minima della vita».

Se un terzo della popolazione mondiale non può usufruire dell'elettricità, per gli altri la situazione non è molto più rosea. Oggi, metà della popolazione umana vive disponendo pro capite di poche centinaia di kilowattora l'anno, molto meno di quanto servirebbe per garantire alla loro vita un salto di qualità. Per raggiungere un'elettrificazione globale entro il 2050 - un obiettivo definito dalle grandi organizzazioni transnazionali per lo sviluppo - sarebbe necessario offrire ogni anno a 100 milioni di persone in più un allacciamento alla rete elettrica: più di due volte e mezzo il numero di nuovi allacciamenti attualmente messi in opera nello stesso lasso di tempo. Per fornire a questi 100 milioni di nuovi utenti la stessa quantità d'energia consumata da un cittadino americano medio nel 1950 sarebbe necessario creare una capacità di generazione di 10 milioni di megawatt entro il 2050, il quadruplo dei consumi mondiali attuali. L'EPRI stima che, per raggiungere questo obiettivo, bisognerebbe mettere in rete un nuovo impianto di generazione da 1000 megawatt ogni due giorni per i prossimi cinquantanni.⁵¹ E, come se non bastasse, aggiunge che, se si volessero rispettare le esigenze di equilibrio

ambientale del pianeta, il 50% della nuova capacità di generazione non dovrebbe essere basata sugli idrocarburi. Per riuscire a farlo, occorrerebbe un investimento di capitale in misura compresa fra i 100 e i 150 miliardi di dollari l'anno. L'International Energy Agency (EIA) calcola che dotare i soli paesi in via di sviluppo di nuova capacità di generazione richiederebbe 1700 miliardi di dollari di investimenti fra il 1995 e il 2020.⁵³

Così, ci si deve chiedere quanto sia realistico l'obiettivo dell'elettrificazione globale se l'energia pro capite a livello mondiale ha già raggiunto il picco e comincia a scivolare sulla parte decrescente della curva a campana, mentre la produzione complessiva di petrolio greggio e quella di gas naturale sono destinate a raggiungerlo entro il 2020. Perfino l'EPRI afferma che il compito «non sarà facile», anche perché il passaggio al gas naturale per la produzione di elettricità non sarà in grado di reggere il carico molto oltre il 2030. Come detto, l'EPRI stima che il maggior ricorso a un gas naturale sempre più scarso ne farà salire drasticamente il prezzo, anche fino al 50%. Dopo il 2030, sempre secondo l'EPRI, dovremo prendere in considerazione altre strategie. L'unica che sembra praticabile è il ricorso a fonti rinnovabili d'energia per creare un regime energetico dell'idrogeno.

Ma, anche in questo caso, il compito non sarà facile. Per costruire un futuro sostenibile, che riesca a mettere a disposizione energia sufficiente per garantire a ogni essere umano una qualità della vita decente, riducendo le pericolose emissioni che favoriscono il surriscaldamento dell'atmosfera, è necessaria una crescita economica media del 2% l'anno. Per valutare quanto sia difficile ottenere un risultato del genere, si consideri che, se nel Novecento gli Stati Uniti sono riusciti a conseguire una crescita media annua proprio del 2%, il doppio della media mondiale, ciò è avvenuto in buona parte perché potevano contare su un'abbondante offerta di petrolio greggio a buon mercato.

Il passaggio al regime energetico dell'idrogeno - basato su risorse rinnovabili e tecnologie per la produzione di i-

drogeno - e la creazione di network di energia distribuita in grado di connettere comunità in tutto il mondo sono l'unico modo per sollevare dalla povertà miliardi di individui. Per ridurre il divario fra ricchi e poveri è necessario, in primo luogo, diminuire quello fra connessi e disconnessi.

Il prezzo delle celle a combustibile e delle attrezzature ausiliarie continua a calare, grazie alle innovazioni tecnologiche e alle economie di scala, rendendole più diffusamente disponibili e facilmente accessibili, esattamente com'è accaduto in passato con le radio a transistor, i computer e i telefoni cellulari. L'obiettivo dovrebbe essere ora quello di fornire una cella a combustibile a ogni villaggio o quartiere del mondo in via di sviluppo. Nelle aree rurali, dove le reti elettriche private non si sono estese a causa dei costi eccessivamente elevati, le celle a combustibile autonome potrebbero fornire elettricità rapidamente e a costi vantaggiosi. Quando fossero state acquistate o installate celle a sufficienza, microreti energetiche potrebbero cominciare a connettere quartieri urbani e villaggi rurali in un network in continua espansione. La HEW potrebbe essere costruita organicamente ed estesa con la progressiva diffusione della generazione distribuita.

Le celle a combustibile alimentate a idrogeno di dimensioni maggiori presentano il vantaggio supplementare di generare, come sottoprodotto, acqua potabile, un aspetto non irrilevante se si pensa che per molte comunità sparse per il mondo l'accesso all'acqua potabile è quanto mai problematico. Le nazioni del Terzo Mondo, in questo modo, non sarebbero più totalmente dipendenti dal flusso di greggio. Si ricordi che il balzo del prezzo del greggio, provocato negli anni Settanta dall'embargo dei paesi OPEC, ebbe effetti ben più negativi sulle nazioni povere del mondo che su quelle industrializzate. In seguito all'embargo del 1973, il prezzo del barile di greggio sui mercati mondiali quadruplicò, da 3 a 13 dollari; i paesi del Sud del mondo furono costretti a indebitarsi presso le banche occidentali e le istituzioni finanziarie internazionali, come la Banca mondiale e il

Fondo monetario internazionale, per pagare il maggior costo del petrolio importato, senza il quale le loro già deboli economie si sarebbero completamente fermate. Fra il 1973 e il 1980 i prestiti erogati dalle banche private ai paesi del Terzo Mondo aumentarono del 550%.

La seconda fiammata dei prezzi del petrolio, nel 1979, scatenò una recessione globale, con il crollo dei prezzi delle materie prime che indebolì ulteriormente le economie in via di sviluppo, già gravate dall'onere del debito. L'aumento del costo delle importazioni di petrolio, associato alla diminuzione dei prezzi delle materie prime esportate, costrinse numerosi paesi in via di sviluppo a indebitarsi ulteriormente, tanto per finanziare l'acquisto di petrolio, quanto per onorare gli interessi sui debiti pregressi. Nel 1985 il debito del Terzo Mondo era superiore ai 1000 miliardi di dollari. Dal momento che la quasi totalità dei fondi ottenuti a prestito era utilizzata per acquisti di petrolio o per il pagamento d'interessi, ben poco restava per finanziare lo sviluppo economico. Di conseguenza, le nazioni del Terzo Mondo hanno perso slancio economico, precipitando ancor più in basso. Il credito delle istituzioni finanziarie internazionali e delle banche private ha cominciato a esaurirsi, innescando una spirale economica perversa. Già nel 1988, molti paesi in via di sviluppo sopportavano una perdita netta di risorse finanziarie.

In anni più recenti la situazione non ha fatto altro che precipitare, dal momento che i paesi in via di sviluppo sono diventati sempre più dipendenti dalle importazioni di petrolio per fornire energia a un settore industriale in espansione, oltre che luce e riscaldamento a una popolazione urbana in aumento, e carburanti per esigenze di trasporto sempre più pressanti. Mentre negli anni Settanta i paesi in via di sviluppo contavano solo per il 26% della domanda globale di petrolio, oggi la loro quota raggiunge il 40%, e continua a crescere. Nel 2000 l'aumento dei prezzi petroliferi è costato alla sola India un aggravio dell'import di 6 miliardi di dollari; per il Brasile, nello stesso

anno, il costo delle importazioni è aumentato del 150% rispetto all'anno precedente; per la Cina, del 250%. In molti paesi, il maggior costo per garantirsi l'approvvigionamento di petrolio compensa quasi totalmente i benefici degli aiuti internazionali allo sviluppo. Per esempio, secondo l'EIA, in Cina e in Thailandia i maggiori costi per le importazioni di petrolio sono pari a due volte e mezzo gli aiuti economici internazionali.

Recentemente il segretario generale delle Nazioni Unite, Kofi Annan, ha avvertito che per molti paesi in via di sviluppo «l'onere del debito è destinato ad aumentare, se negli anni a venire l'aumento dei prezzi del petrolio provocherà una lievitazione dei tassi d'interesse internazionali». Il debito del Terzo Mondo ha già assunto dimensioni critiche, benché la produzione petrolifera mondiale non abbia ancora raggiunto il picco: alla fine del 1999, quarantasette paesi - con una popolazione complessiva di 1,1 miliardi di persone - avevano un debito estero complessivo di 422 miliardi di dollari, con un debito medio pro capite di 380 dollari, pari al PIL medio pro capite. Ma ancor più rilevante, per i paesi più poveri (per intendersi, quelli con un PIL pro capite inferiore agli 885 dollari l'anno), è il fatto che l'83% dei nuovi prestiti ottenuti viene utilizzato per rimborsare debiti pregressi, non lasciando granché per finanziare iniziative di sviluppo e migliorare il tenore di vita delle popolazioni. La dimensione umana della crisi del debito è impressionante: oggi, per pagare gli interessi sui debiti contratti, molti dei paesi più poveri spendono di più che per servizi sociali di base, istruzione e sanità.

Non deve stupire, dunque, che alle manifestazioni tenutesi in occasione dei forum mondiali sullo sviluppo i dimostranti antiglobalizzazione abbiano fatto della cancellazione del debito del Terzo Mondo uno slogan efficacissimo. Le istituzioni finanziarie internazionali hanno accettato di rillettere una modesta quota del debito montante, ma chi erica l'iniziativa è consapevole del fatto che ciò non è neppure; minimamente sufficiente a invertire la spirale economica

perversa in cui sono precipitate molte delle nazioni più povere. Solo liberandosi dalla dipendenza dalle importazioni di petrolio e di gas naturale, i paesi del Terzo Mondo potranno emergere, migliorando le condizioni economiche della popolazione.

In tutto il mondo in via di sviluppo devono essere istituite associazioni per la generazione distribuita (DGA). Le organizzazioni della società civile, le cooperative (dove esistono), le istituzioni bancarie dedite al microcredito e i governi locali dovrebbero considerare le reti energetiche distribuite una strategia fondamentale per dar vita a comunità sostenibili e autosufficienti. In questo contesto la logica dell'accesso come espressione del potere assume pieno significato: senza accesso all'energia, e in particolare all'elettricità, la gente non ha alcun potere di controllo sul proprio destino; per spezzare il cerchio della dipendenza e della miseria, e conquistare questo potere, si deve partire dall'accesso e dal controllo sull'energia.

I governi nazionali e le istituzioni finanziarie mondiali devono essere sottoposte ad attività di lobbying, per fare in modo che contribuiscano a fornire un supporto tanto logistico quanto finanziario alla creazione dell'infrastruttura energetica dell'idrogeno. Inoltre, è essenziale che vengano promulgate e rese vigenti nuove leggi, per rendere più facile l'adozione della generazione distribuita. A imprese pubbliche e private deve essere imposto di garantire agli operatori della generazione distribuita sia l'accesso alla rete elettrica sia il diritto di vendere l'eccesso di energia prodotta o di barattarla in cambio di servizi.

L'era dei combustibili fossili ha portato con sé un'infrastruttura energetica fortemente centralizzata, con la conseguente centralizzazione dell'infrastruttura economica, che ha favorito pochi rispetto ai molti. L'allargamento del divario fra ricchi e poveri - o, attualmente, fra connessi e disconnessi -, che si è verificato nel secolo scorso, è attribuibile, e non in modesta misura, alla natura stessa del regime energetico dei combustibili fossili.

Oggi, all'alba dell'era dell'idrogeno, è possibile immaginare un'infrastruttura energetica decentralizzata, che riesca a supportare una democratizzazione dell'energia, permettendo a individui, comunità e nazioni di reclamare la propria indipendenza, pur accettando la responsabilità che deriva dalla reciproca interdipendenza.

Nei primi anni Novanta, all'inizio dell'era di Internet, la domanda di «accesso universale» all'informazione e alla comunicazione divenne lo slogan di una generazione di attivisti, consumatori, cittadini e leader politici. Oggi, alle soglie dell'era dell'idrogeno, la domanda di accesso universale all'energia dovrebbe spronare una nuova generazione di attivisti a dare il proprio contributo per creare i presupposti del ristabilimento di comunità sostenibili. Se questo accadesse, potremmo cominciare a riglobalizzare l'energia lungo linee completamente nuove: questa volta, l'energia scorrerebbe orizzontalmente, da una casa all'altra, da un quartiere all'altro, da una comunità all'altra, creando un'estesa infrastruttura energetica decentralizzata in grado di promuovere i valori di autosufficienza e di interdipendenza.

Se tutti gli individui e le comunità del mondo diventassero produttori della propria energia, il risultato sarebbe un radicale cambiamento della configurazione dei flussi di potere: non più dall'alto verso il basso, ma dal basso verso l'alto. Le persone non sarebbero più così soggette alla volontà di centri di potere lontani; le comunità potrebbero produrre molti dei beni e dei servizi di cui necessitano, e consumare localmente i frutti del proprio lavoro. Ma essendo tutti, comunque, connessi attraverso le reti globali dell'energia e delle comunicazioni, ciascuno potrebbe condividere con altre comunità in tutto il mondo prodotti, servizi, competenze tecniche e capacità economiche. Questo tipo di autosufficienza economica è il punto di partenza di un'interdipendenza globale, assai diversa dalla realtà dei regimi coloniali del passato, in cui le popolazioni locali erano asservite e dipendenti da potenti forze estranee.

Comunità locali economicamente sostenibili rendono

possibile un benessere materiale assai più che equo. Dare eccesso- e potere alle comunità locali contribuisce inoltre a preservare la diversità culturale del consesso umano. L'autosufficienza economica garantisce la sicurezza materiale di cui gli individui hanno bisogno per mantenere un senso di coesione sociale e per preservare la propria ricchezza culturale. Nello stesso tempo, l'integrazione del singolo nelle più vaste reti globali della comunicazione e dell'energia libera gli individui dalla xenofobia che tradizionalmente si accompagna a un'esistenza geograficamente isolata. Nel nuovo contesto globale, la cultura locale diventa meno un possesso da difendere e più un dono da condividere con il mondo. Lo scambio culturale riconquista il primato e torna a essere un'espressione dell'interazione fra gli uomini dotata della stessa dignità dello scambio economico. Il capitale sociale fiorisce accanto a quello di mercato, e il potere politico si sviluppa dalle profondità della cultura anziché dalla sfera economica o amministrativa.

In questo nuovo contesto, la globalizzazione prende le mosse dalla valorizzazione di ogni essere umano per irradiarsi alla famiglia, alla comunità, al paese, alle reti di interessi economici e alla stessa biosfera. Ridistribuendo ampiamente il potere ai singoli individui, è possibile stabilire le condizioni per un'equa condivisione delle ricchezze della terra. Questa è l'essenza della politica di ri-globalizzazione dal basso.

Ripensare la sicurezza

L'economia dell'idrogeno porterà con sé, proprio come accade nell'era dei combustibili fossili, un nuovo modo di pensare l'organizzazione della nostra esistenza; nel corso della storia le grandi trasformazioni dei regimi energetici hanno sempre indotto un ripensamento delle categorie fondamentali dell'esistenza. Le culture dei cacciatori-raccoglitori, pur nella loro unicità, condividono con le società agricole e industriali una comunità di spirito. I modi in

cui gli uomini raccolgono, trasformano e usano le forme dominanti di energia a disposizione - che si tratti di piante e animali selvatici, colture agricole, schiavi, carbone, petrolio o gas naturale al servizio delle macchine - determina anche i diversi modi di definire le idee sulla sicurezza personale e collettiva.

Per esempio, si confronti il concetto di sicurezza proprio dei cristiani dell'epoca medievale con quello della borghesia capitalista industriale del Novecento: due idee completamente diverse, che ci rivelano quanto differisse la natura del regime energetico da cui l'uomo dipendeva per la propria esistenza.

Come abbiamo spiegato nel quinto capitolo, l'Europa medievale era sotto l'egida della Chiesa cattolica, alleata con i signori della guerra locali: re, principi e feudatari. La società era concepita come un microcosmo della grande creazione divina, descritta come una grande scala o catena dell'essere, con Dio al vertice e, sotto di lui, i suoi emissari terreni: il papa e i sacerdoti, seguiti da personaggi inferiori come re, signori, cavalieri, contadini, fittavoli, servi e tutte le altre creature, fino ai gradini più bassi, a includere «tutte le creature striscianti che abbiano mai strisciato sulla terra». Ogni gradino della scala divina, spiega Tommaso d'Aquino, era occupato da una creatura di Dio, e poiché tutti i gradini erano occupati, non c'era alcuno spazio per innovazioni, sorprese o cambiamenti rispetto ai piani di Dio. Il mondo ecclesiastico era una struttura strettamente intrecciata, con una precisa gerarchia di cariche e un dettagliato catechismo di istruzioni a governare i reciproci compiti. La sicurezza era garantita dall'adempimento delle mansioni assegnate dalla Provvidenza, e dall'accettazione del proprio ruolo e delle proprie responsabilità nella gerarchia naturale. Ottemperando fedelmente ai propri compiti e doveri, gli uomini e le donne del Medioevo si garantivano, per quanto possibile, la sicurezza sulla terra e quella eterna nell'aldilà.

Nell'organizzazione medievale del mondo, la terra si di-

mostrava particolarmente importante al fine di definire la sicurezza, dal momento che era il luogo in cui ciascuno si metteva al servizio di Dio. In un'era in cui l'agricoltura era il regime energetico dominante, la sicurezza derivava naturalmente dalla terra. Il senso del luogo era particolarmente importante perché nell'ordine feudale gli uomini, nella maggior parte dei casi, appartenevano alla terra, e non viceversa. La sicurezza, dunque, assumeva una dimensione verticale, cominciando nell'esistenza terrena con il senso di attaccamento alla casa ancestrale, in cui si era nati, e ascendendo al mondo ultraterreno, dove si otteneva il premio della vita eterna.

L'economia del carbone mutò radicalmente il paradigma della sicurezza. Le macchine a vapore permettevano alla società di affiancare agli schiavi e agli animali domestici dei succedanei meccanici. I nuovi schiavi meccanici fecero sentire l'uomo meno dipendente da Dio e dalle forze della natura per il proprio benessere. Gradualmente, l'autodeterminazione si sostituì alla Divina Provvidenza, almeno per coloro che controllavano e traevano beneficio da quella che lo storico Arnold Toynbee avrebbe in seguito battezzato «rivoluzione industriale».

L'economia del carbone accelerò enormemente il ritmo, il flusso, la varietà e l'intensità della vita dell'uomo. Se nel Medioevo erano pochi quelli che si avventuravano lontano dalla propria casa, alla fine dell'Ottocento milioni di persone attraversavano regolarmente e in pochi giorni oceani e continenti su navi a vapore e treni. Ferrovia e telegrafo abbreviarono le distanze, compressero i tempi di spostamento e apportarono una nuova dimensione alla vita dell'uomo: quella della mobilità. Milioni di contadini, sradicati dalla terra dei loro avi e svincolati dai legami feudali, migrarono verso città in espansione e in fermento, dove diventarono «forza lavoro», impiegata nelle fabbriche al servizio di macchinari mossi dal vapore. La nuova era urbana si caratterizzò progressivamente per il senso d'inquietudine e il continuo cambiamento. L'innovazione divenne il tratto più

caratteristico della nuova economia industriale. Essere moderni significava essere all'avanguardia, sperimentare sempre nuove idee, mode e stili di vita. Le giovani generazioni criticavano i propri genitori, considerandoli «fuori moda».

La sensazione sempre più forte di dover bastare a se stessi e l'accelerato ritmo della vita, che caratterizzavano la nuova era, portarono all'evoluzione del concetto di sicurezza. L'idea medievale di sicurezza, legata all'appartenenza alla terra nel mondo terreno e alla salvezza nell'aldilà, fu gradualmente sostituita da una nuova concezione sempre più fondata sui valori di autonomia e mobilità individuale. In tutto il mondo, questi due valori sarebbero diventati le virtù dominanti dell'emergente classe borghese.

Autonomia divenne sinonimo di libertà. Essere autonomo significava essere padrone del proprio destino e non dipendere da altri. La chiave per conquistare l'autonomia era la proprietà. Il nuovo ruolo dello Stato divenne quello di difendere ed espandere i mercati, assicurando il diritto di ciascun cittadino di accumulare proprietà, in modo da poter conquistare l'autonomia ed essere veramente libero.

Nella nuova era, mobilità significava assai più che possibilità di spostamento. Essere mobile significava avere sempre a disposizione nuove scelte e nuove alternative. Così come autonomia divenne sinonimo di libertà, mobilità divenne sinonimo di opportunità. L'era dei combustibili fossili emancipò l'uomo dalla lentezza del ciclo delle stagioni che regolava l'attività agricola e, così facendo, dalla dipendenza dai vincoli della natura e dall'intervento divino. Ogni nuovo adepto della modernità era convertito al culto di Prometeo: armato di autonomia e mobilità, ogni uomo poteva essere un dio minore, in grado di costruirsi un piccolo, personale pezzo di paradiso nel mondo materiale.

Nel Novecento la classe media, il cui senso di sicurezza era profondamente legato ai concetti di autonomia e mobilità, trovò la materializzazione delle proprie aspirazioni in un oggetto di nuova invenzione: l'automobile, una macchina alimentata a benzina che, in un sol colpo, offriva

un totale senso di autonomia e mobilità, tanto al guidatore quanto ai passeggeri. Non c'è dunque da meravigliarsi che l'automobile sia diventata la principale metafora di un'epoca e l'elemento portante dell'economia industriale. Henry Ford affermò, fra il serio e il faceto, che le sue automobili dovevano essere considerate «salotti su ruote». Chi, da giovane, non ha provato personalmente quel senso di libertà e opportunità così intimamente legato alla prima esperienza di guida dell'automobile, mani sul volante e piede sull'acceleratore? Nell'automobile, sulla strada, ci si sente autonomi e mobili, ma anche sicuri, per quanto sia possibile esserlo nell'era moderna... e tutto questo è stato reso possibile dallo sfruttamento dei combustibili fossili.

L'idea moderna di sicurezza fornì un sistema di riferimento tanto alle nazioni quanto ai singoli individui. La nuova scienza della geopolitica, delineata per la prima volta nel 1882 dal geografo e antropologo tedesco Friedrich Ratzel, divenne l'immagine speculare della nuova sensibilità borghese. Prendendo a piene mani dalle teorie di Darwin sull'origine e l'evoluzione delle specie, con l'enfasi posta sulla competizione biologica per lo spazio e le risorse in un regime di scarsità, Ratzel affermava che, perseguendo l'ampliamento delle proprie opportunità commerciali e del proprio dominio militare, lo Stato nazionale non faceva che realizzare il proprio destino biologico. Le nazioni puntano ad assicurarsi l'autonomia attraverso la continua espansione del proprio raggio d'azione, e il parametro del successo è il grado di mobilità raggiunto. Ratzel era convinto che la mobilità potesse essere difesa al meglio mantenendo una presenza dominante sugli oceani. «La Germania» scriveva «deve essere forte sui mari, se vuole adempiere alla sua missione nel mondo.»

Un geografo britannico, Sir Alfred Mackinder, concordava con Ratzel circa il fatto che il dominio sugli oceani, che coprono i nove dodicesimi della superficie terrestre, avrebbe garantito a qualunque nazione la mobilità necessaria per sgominare eventuali aggressori e, nello stesso tempo,

per permetterle di perseguire i propri piani di espansione. Solo più tardi, dopo la seconda guerra mondiale, i teorici della geopolitica inclusero, nella formulazione delle loro concezioni, anche il dominio sullo spazio aereo.

Gli architetti della nuova geopolitica ci misero poco a sottolineare l'importanza strategica del carbone, del petrolio, del ferro e degli altri minerali, senza i quali nessuna guerra moderna avrebbe potuto essere combattuta né lo stile di vita industriale progredire. Nicholas Spykman, una delle figure di maggior rilievo della geopolitica del Novecento, scrisse che il controllo sulle risorse naturali è un fattore decisivo in politica estera. Come abbiamo appreso in precedenza, i leader politici e militari di entrambi i campi impegnati nei due conflitti mondiali sapevano con precisione quanto fosse importante assicurarsi un flusso costante di petrolio e di altre risorse vitali per ottenere autonomia, mobilità e, in ultima istanza, la vittoria.

La moderna nozione di sicurezza e la geopolitica avevano senso in un mondo in cui il tempo era ancora lineare e lo spazio ancora espandibile, giacché le dimensioni temporale e spaziale conservavano allora sufficiente ampiezza da premiare autonomia e mobilità.

Ma in un mondo in cui la tecnologia permette alle persone di interagire, di svolgere attività economiche e sociali alla velocità della luce, ventiquattr'ore su ventiquattro, la durata si restringe fin quasi alla simultaneità e le distanze sembrano annullarsi. La terra è sempre meno un uogo d'incontro e sempre più un'entità indivisibile. La ronsapevolezza di questa nuova realtà si manifestò per la prima volta nel 1945, quando gli americani sganciarono la bomba atomica sulle città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki: improvvisamente, l'umanità apprese di aver accumulato abbastanza energia da poter distruggere se stessa, si cominciò, così, a parlare della vita in un unico mondo, di cui la sicurezza di ciascuno dipende da quella di tutti gli altri; nell'era del nucleare, la sola idea di essere in qualche modo in grado di garantire sicurezza agli individui o

autonomia alle nazioni cominciò a sembrare debole e assolutamente ingenua.

Anche le prime foto della terra riprese da un satellite in orbita nello spazio, negli anni Sessanta, contribuirono a modificare la nostra idea di sicurezza: per la prima volta ci si rese conto di essere abitanti di un piccolo pianeta che orbita intorno a una piccola stella sperduta in un universo infinito. L'autonomia implica il singolo contro la moltitudine, e la mobilità ampi spazi in cui spostarsi; ma la visione a distanza del nostro pianeta ha reso ben chiaro come esista un'unica comunità di uomini, confinata in un'area minuscola del teatro cosmico.

Ma, forse, il fenomeno che più di ogni altro ci ha costretti a riformulare il tradizionale concetto di sicurezza è l'aumento della temperatura indotto dall'uso dei combustibili fossili durante l'era industriale. Abbiamo trascorso gran parte dell'era dei combustibili fossili nel tentativo di suddividere l'ecosistema terrestre in aree d'interesse economico, in modo da poter far progredire il nostro senso di autonomia e mobilità. Ora la terra ci sta imprigionando nelle scorie dell'energia che abbiamo consumato, mettendo a repentaglio quell'autonomia e quella mobilità che durante l'età moderna abbiamo così disperatamente cercato di ottenere.

Ora ci troviamo alle prese con una nuova rivoluzione scientifica, tecnologica ed economica che potrebbe, in teoria, connettere tutta l'umanità e le altre creature terrestri in un'unica, indivisibile rete vivente. Eppure, il nostro concetto di sicurezza è ancora legato a un'era fondata sulla ristretta concezione darwiniana di organismi isolati che tentano esclusivamente di ottimizzare la propria mobilità e di garantirsi l'autonomia.

Ci sono segnali che la prima generazione cresciuta con i videogiochi e i computer, i *palm pilot* e i telefoni cellulari, e che ha trascorso buona parte del proprio tempo a mettersi in contatto reciprocamente e a condividere informazioni su Internet e nel World Wide Web, possa aver sviluppato una consapevolezza diversa, e un diverso concetto di si-

curezza? Per la cosiddetta generazione *dotcom*, l'idea stessa di autonomia - che ha totalmente condizionato il concetto di sicurezza della generazione dei genitori - è sospetta, se non completamente irrilevante rispetto ai loro bisogni in questo mondo interconnesso. Se le precedenti generazioni hanno definito la sicurezza in termini di autonomia ed esclusività, considerando ogni persona un'isola autoreferenziale, i figli del Web sono cresciuti in un ambiente tecnologico completamente diverso, in cui l'autonomia è considerata come isolamento e morte, e la libertà è interpretata più probabilmente come il diritto a far parte di relazioni complesse. La loro identità è molto più legata ai network cui sono affiliati: per loro il tempo è virtualmente simultaneo e le distanze hanno scarso rilievo; sono sempre più connessi a tutti e a tutto attraverso un sistema nervoso centrale elettronico che s'irradia sull'intero pianeta, con l'intento di abbracciare tutto ciò che contiene; e, ogni giorno che passa, diventano sempre più integrati in un superiore organismo sociale in cui la nozione di autonomia personale ha perso significato e la sensazione d'illimitata mobilità è circoscritta dalla densità e dall'interattività che lega strettamente gli uni agli altri.

I network economici gerarchizzati, nati dal regime energetico dei combustibili fossili e legati allo stile di vita industriale, con vertici di comando e sistemi di controllo centralizzati, sono stati progettati sulla base del moderno concetto di sicurezza. L'impresa che in queste ultime fasi domina l'economia globale dell'era degli idrocarburi è un peana all'idea che la sicurezza istituzionale possa essere promossa al meglio attraverso autonomia e mobilità.

Oggi, però, la rete mondiale delle comunicazioni e la futura rete energetica dell'idrogeno rendono possibile una riorganizzazione della vita economica. Nella nuova era dei meccanismi di comando e di controllo decentralizzati e di comunicazione e uso dell'energia potenzialmente democratici, in cui sempre più strettamente ciascuno è collegato a tutti e a tutto alla velocità della luce in reti

molteplici e sovrapposte, possiamo cominciare a ridefinire il concetto di sicurezza.

Dalla geopolitica alla politica della biosfera

Le più recenti interpretazioni scientifiche del funzionamento della terra offrono un sistema di riferimento unitario per ripensare la questione della sicurezza nell'era dell'idrogeno. Il primo scienziato a pensare alla terra come a un «organismo vivente» è stato il russo Vladimir Vernadskij. Nel 1926, nell'ormai celeberrimo *Biosfera*, Vernadskij ipotizzava - in contrasto con la teoria di Darwin che anteponeva l'evoluzione di processi geochimici terrestri e lo sviluppo dell'ambiente atmosferico all'emergere degli organismi viventi - che in realtà i processi geochimici e quelli biologici si fossero evoluti simultaneamente in una relazione simbiotica reciproca. Vernadskij riteneva che il ciclo dei composti chimici inerti sulla terra fosse influenzato dalla quantità e qualità della materia vivente, e che questa a sua volta incidesse sulla quantità e qualità dei composti chimici inerti in circolo planetario.

La biosfera è un involucro sottile - fra i 45 e i 60 chilometri - che si estende dal fondo degli oceani alla stratosfera e che contiene tutte le forme di vita esistenti sulla terra. È proprio nell'ambito di questa ristretta fascia verticale che le creature viventi e i processi geochimici della terra interagiscono, favorendo lo sviluppo e la conservazione della vita.

Negli anni Settanta uno scienziato inglese, James Lovelock, e una biologa americana, Lynn Margulis, hanno ampliato le tesi di Vernadskij formulando l'«ipotesi Gaia», secondo la quale la terra funziona come un organismo vivente autoregolato. Secondo la loro teoria, la flora e la fauna di una data regione (la cosiddetta «biota») e i composti geochimici dell'atmosfera interagiscono in una relazione simbiotica per mantenere il clima terrestre in uno stato relativamente stabile, favorevole alla vita.

Lovelock indica la regolazione dell'ossigeno e del me-

tano come un perfetto esempio del modo in cui il processo cibernetico fra la vita e il ciclo biochimico permette di mantenere sulla terra un regime climatico omeostatico. Ci ricorda che il livello dell'ossigeno nell'atmosfera terrestre deve essere compreso entro uno strettissimo *range* di oscillazione: un aumento dell'1% del livello dell'ossigeno aumenterebbe la probabilità di incendi del 60%; un aumento del 4%, probabilmente, ridurrebbe l'intero pianeta a un gigantesco rogo, provocando la completa distruzione della materia vivente sulla superficie terrestre. La produzione di ossigeno è garantita dalla fotosintesi: i cloroplasti verdi contenuti all'interno delle cellule vegetali convertono l'energia solare in energia chimica, per il nutrimento della pianta e, nel farlo, convertono in ossigeno il biossido di carbonio e l'acqua. Gli animali, dal canto loro, per tenersi in vita assumono l'ossigeno attraverso la respirazione ed emettono nell'atmosfera biossido di carbonio, gran parte del quale rientra in circolo attraverso la catena vegetale, procedendo così all'infinito.

Da tempo, gli scienziati erano a conoscenza dell'interazione fra ciclo dell'ossigeno e ciclo del biossido di carbonio, ma non sapevano perché il livello dell'ossigeno fosse rimasto costante anche in presenza di notevoli variazioni della produzione energetica solare e del numero di creature viventi presenti sulla terra. Per capire come il livello dell'ossigeno abbia potuto rimanere sostanzialmente fisso al 21%, è necessario capire come reagisce con gli altri gas atmosferici. Per spiegare parzialmente il processo, Lovelock è ricorso al metano.

Alla fine degli anni Settanta, gli scienziati scoprirono che il metano era un sottoprodotto biologico, derivante dalla fermentazione batterica. I microrganismi che vivono nell'apparato digerente dei ruminanti e delle termiti, e nelle rbiere, producono «almeno un miliardo di tonnellate annue» di metano. Il metano migra nell'atmosfera, dove agisce da regolatore, aggiungendo e sottraendo ossigeno all'aria: quando raggiunge la stratosfera, il metano si ossida in

biossido di carbonio e vapore acqueo; l'acqua, a sua volta, si separa in idrogeno e ossigeno; l'ossigeno scende verso la terra, mentre l'idrogeno sfugge alla gravitazione verso lo spazio esterno. Il metano, dunque, può aumentare il livello di ossigeno nell'alta atmosfera. Nella bassa atmosfera, il metano consuma ossigeno nella misura di circa 2000 megatonnellate l'anno. Lovelock specifica che «in assenza di produzione di metano la concentrazione di ossigeno aumenterebbe dell'1% in 12.000 anni; un mutamento pericoloso, e, su scala di tempo geologica, troppo rapido».

Lovelock e Margulis ritengono che, quando l'ossigeno nell'atmosfera supera il livello tollerabile, un qualche segnale d'allarme innesca un aumento della produzione di metano da parte dei microrganismi. La maggiore quantità di metano prodotta migra nell'atmosfera, diminuendo il contenuto di ossigeno, fino al ritorno allo stato stabile. Il continuo processo di interazione e feedback fra organismi viventi e composti e cicli geochimici agisce come un'unità organica che mantiene il clima e l'ambiente terrestre e preserva la vita.

Disturba in qualche modo il pensare che senza l'aiuto di quella microflora anaerobica dei fanghi mefitici dei fondali marini, laghi e stagni, potrebbe non esservi la possibilità di scrivere o leggere libri. Senza il metano che essi producono, l'ossigeno aumenterebbe la sua concentrazione ad un livello in cui ogni scintilla sarebbe un olocausto e la vita di superficie, a parte la microflora delle zone umide, sarebbe impossibile.

Dunque, gran parte di ciò che costituisce la biosfera proviene da creature viventi o è da esse modificato. Lovelock ci rammenta che l'ossigeno e l'azoto dell'aria provengono direttamente da vegetali e microrganismi; che i depositi di gesso e di calcare sono le ossa e i gusci di animali marini preistorici; che le barriere coralline e molte isole non sono che cimiteri di infiniti animaletti. Lovelock cita questi e altri esempi per dimostrare che la vita non è semplicemente *aggiunta* a un mondo statico e inerte di materia «prodotto dalle mani cieche della chimica e della fisica», ma che «l'è-

voluzione delle rocce e dell'atmosfera e quella del biota sono inseparabili».

Il pianeta, quindi, è molto più simile a una creatura vivente, a un'entità organica autoregolata che si mantiene in uno stato stabile, necessario alla continuazione della vita. Secondo l'ipotesi Gaia, l'adattamento e l'evoluzione delle singole creature sono parte di un processo più grande di adattamento ed evoluzione del pianeta stesso: è la continua e simbiotica relazione fra ogni creatura vivente e i processi geochimici che garantisce la sopravvivenza dell'organismo planetario e di tutte le specie che vivono nel suo involucro di biosfera.

Da allora, molti altri scienziati hanno aderito all'ipotesi Gaia, correggendo, ampliando e precisando il lavoro di Lovelock e Margulis. Negli ultimi vent'anni, l'idea che la terra funzioni come un organismo vivente ha costituito il fondamento per una riformulazione del rapporto fra biologia, chimica e geologia.

Se, in effetti, la terra funziona come un organismo vivente, l'attività dell'uomo che interviene sulla biochimica di questo organismo può portare a gravi conseguenze, tanto per la vita umana quanto per la biosfera nel suo complesso. Il massiccio ricorso ai combustibili fossili è il principale esempio, su scala globale, di un'attività umana che provoca il rischio di un radicale cambiamento del clima terrestre, mettendo a repentaglio la biosfera che supporta tutte le creature viventi.

La consapevolezza, recentemente acquisita, che la terra funziona come un organismo vivente inscindibile, ci impone anche di riformulare il concetto di sicurezza. Se ogni essere umano e la specie nel suo complesso, come tutte le altre specie che abitano la terra, hanno un intimo legame con la geochimica del pianeta in una coreografia ricca e complessa, la cui sola funzione è supportare la vita, allora siamo tutti dipendenti da - e responsabili per - la salute dell'intero organismo. Onorare questa responsabilità significa vivere individualmente, nelle rispettive comunità,

in modo da promuovere il benessere generale della più ampia biosfera in cui prosperiamo.

Lo scienziato francese René Dubos ha sintetizzato il nuovo concetto di sicurezza che deriva dalla recente interpretazione scientifica del funzionamento della terra, invitando tutti gli uomini ad «agire localmente e pensare globalmente». Internet e la creazione del World Wide Web ci hanno dato un «sistema nervoso centrale» mediato elettronicamente per connettere tutto e tutti nella biosfera, in modo da potere, per la prima volta, veramente «pensare globalmente per agire localmente». Nello stesso tempo, la rete energetica dell'idrogeno ci mette a disposizione un nuovo regime non inquinante che decentralizza e democratizza l'energia, in modo che gli uomini possano vivere in comunità più piccole e disperse, con minori possibilità di esercitare una pressione eccessiva sulla biosfera. Il massiccio spopolamento delle campagne e la migrazione verso megalopoli con milioni di abitanti - che è il connotato sociale caratteristico dell'era dei combustibili fossili - è semplicemente insostenibile dal punto di vista termodinamico. Poiché l'idrogeno, veicolo di energia, è ubiquo, e gli impianti di generazione a celle a combustibile possono essere collocati ovunque e connessi a una rete energetica estesa, è possibile superare l'architettura centralizzata e gerarchica dell'era del petrolio. Nell'economia dell'idrogeno, le attività industriali e commerciali si possono diffondere in modo più ecologicamente sostenibile, permettendo una gamma maggiormente equilibrata di densità degli insediamenti umani.

Inoltre, la disponibilità universale dell'idrogeno e la leggerezza, flessibilità e convenienza delle tecnologie decentralizzate di generazione distribuita porranno inevitabilmente la questione dell'adeguatezza delle attuali istituzioni politiche e dei loro confini. Lo Stato nazionale, dopotutto, è una creatura dell'era dei combustibili fossili. Come abbiamo detto nel quarto capitolo, l'introduzione del telegrafo e della locomotiva a vapore, alimentata a carbone, hanno collegato attività commerciali e vita sociale su un terreno più

ampio, favorendo la nascita dello Stato-nazione, sfruttando una sorta di «politica di scala» per controllare vaste aree geografiche. Sfortunatamente, la ridefinizione dei confini geografici, conseguente alla creazione degli Stati nazionali, spesso non ha tenuto in alcun conto la dinamica degli ecosistemi, rendendo più difficile per l'uomo vivere in modo sostenibile.

Nell'economia dell'idrogeno, con la sua rete energetica decentralizzata e democratizzata, è possibile stabilire insediamenti umani nell'ambito di bioregioni, ecoregioni e georegioni, rispettando le modalità di insediamento delle comunità biochimiche della terra stessa. L'integrazione delle comunità umane nelle biocomunità crea un nuovo, profondo senso di sicurezza, inseparabile dalla salute e dal benessere della terra stessa.

Creando un'architettura economica e sociale che riproduca in miniatura la diversificata fisiologia della terra, offriremo alla nostra specie un mondo pieno di nuove possibilità, favorevoli alla vita e vitali per loro stessa natura.

Porremo così fine al lungo, barbaro dominio della geopolitica, inaugurando un nuovo percorso per la creazione di una duratura politica della biosfera.

Sono rari, nella storia, i momenti in cui una generazione di uomini ha a disposizione un nuovo strumento grazie al quale riorganizzare le relazioni reciproche e la struttura in cui si realizzano. Quello che stiamo vivendo è uno di quei momenti. Ci è stata donata l'energia del sole. L'idrogeno è una promessa per il futuro dell'umanità sulla terra. Dipenderà da noi se questa promessa verrà sprecata in avventure fallimentari e opportunità perdute, oppure saggiamente utilizzata a vantaggio dell'umanità e di tutti gli esseri viventi.

Note

1

I. *Fra due realtà*

3

- 4 Jeremy Rifkin, *La fine del lavoro*, trad. it. Milano, Baldini&Castoldi, 1996.
Jeremy Rifkin, *Il secolo biotech*, trad. it. Milano, Baldini&Castoldi, 1998.
Jeremy Rifkin, *L'era dell'accesso*, trad. it. Milano, Mondadori, 2000.
5 Daniel L. Albritton *et al.*, *Summary for Volley Makers. Climate Change 2001. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, 2001, p. 13 (<http://www.earth.usgcrp.gov/ipcc/wglspm.pdf>).
Peter Hoffman, *The Forever Fuel. Story of Hydrogen*, Boulder (CO), Westview Press, 1981.

1

II. *Scivolando lungo la curva di Hubbert*

2

- Ed Crooks e David Buchan, *Crude Calculation*, in «Financial Times», 16-17 marzo 2002, p. 6.
Colin J. Campbell e Jean H. Laherrère, *The End of Cheap Oil*, in «Scientific American», marzo 1998, p. 80; L.F. Ivanhoe, *Get Ready for Another Oil Shock!*, in «The Futurist», gennaio-febbraio 1997, p. 23; Craig B. Hatfield, *How Long Can Oil Supply Grow?*, in «Hubbert Center Newsletter», 9/4, 21 agosto 2001 (<http://www.hubbert.mines.edu/news/v97n4/mkh-new5.htm>); James J. MacKenzie, *OH as a Finite Resource. When is Global Production Likely to Peak?*, marzo 2000 (http://www.wri.org/wri/climate/jm_oil_000.html); Howard Banks, *Cheap OH. Enjoy It While It Lasts*, in «Forbes», 15 giugno 1998, p. 86.
5 Colin J. Campbell, *A Guide to Determining the World's Endowment and Depletion of Oil*, 31 marzo 1998 (<http://www.oilcrisis.com/campbell/guide.htm>).
6 «Petroleum. Origin of Crude Oil», in *Encyclopedia Britannica online*.
C.J. Campbell, *A Guide to Determining the World's Endowment and Depletion of Oil*, cit.
Corrispondenza dell'autore con C.J. Campbell (27 febbraio 2002) e J.H. Laherrère (22 febbraio 2002).
L.F. Ivanhoe, *Future World Oil Supplies. There Is a Finite Limit*, in «World Oil», ottobre 1995 (<http://users.ksni.com/~tbender/ivanhoe.html>).
8 *Ibid.*; Walter Youngquist, *GeoDestinies. The Inevitable Control of Earth Resources Over Nations and Individuals*, Portland (OR), National Book Company, 1997, p. 167.

¹⁰
¹¹ Jean H. Laherrère, *World Oil Reserves - Which Number to Believe?*, in «OPEC Bulletin», febbraio 1995, pp. 9-13.

W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 171.

Ibid.

¹³ Corrispondenza dell'autore con C.J. Campbell (27 febbraio 2002). Il modello dell'Oil Depletion Analysis Center (ODAC) di Londra sarà pubblicato nel corso del 2002.

Ibid. I dati relativi alle riserve di petrolio degli Stati Uniti citati da «World Oil» e «Oil and Gas Journal» sono praticamente identici: «World Oil» («WO») le valuta in 21,33 Gbo, «Oil and Gas Journal» («OGJ») in 22,05. Le due riviste, però, pubblicano soltanto i dati ufficiali forniti dai vari governi: nel caso dell'Arabia Saudita, per esempio, «WO» stima le riserve 263 Gbo, «OGJ» 259,63. Entrambe le cifre sono significativamente più elevate delle valutazioni formulate da Campbell. Cfr. *World Trends. Estimated Proven World Reserves, 2000 versus 1999*, in «WO», agosto 2001, voi. 222, n. 8. Cfr. anche «OGJ», 24 dicembre 2001, pp. 126-27.

J.H. Laherrère, *World Oil Reserves - Which Number to Believe?*, cit.

¹⁶ Corrispondenza dell'autore con C.J. Campbell, cit.; *Long Term World Oil Supplies (A Resource Base/Production Path Analysis)*, The Energy Information Administration (EIA) of the Department of Energy, 2001.

Long Term World Oil Supplies (A Resource Base/Production Path Analysis), cit.

²⁰ C.J. Campbell e J.H. Laherrère, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 79.

²¹ *Ivi*, p. 80.

Ibid.

H. Banks, *Cheap Oil. Enjoy It While It Lasts*, cit., p. 84.

²³ C.J. Campbell e J.H. Laherrère, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 80.

Colin J. Campbell, *Peak Oil*, relazione alla Technical University of Clausthal, dicembre 2000 (<http://www.oilcrisis.com/de/lecture.html>).

²⁴ *Estimated Ultimately Recoverable (EUR) Oil*, World Resources Institute (<http://www.wri.org/wri/climate/finitoil/oil-eur.html>); J.J. MacKenzie, *Oil is a Finite Resource...*, cit.

C.J. Campbell e J.H. Laherrère, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 80.

²⁷ L.E. Ivanhoe, *Get Ready for Another Oil Shock!*, cit., p. 22.

²⁸ C.J. Campbell e J.H. Laherrère, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 80; C.J. Campbell, *Peak Oil*, cit.

³⁰ L.F. Ivanhoe, *Get Ready for Another Oil Shock!*, cit., p. 20.

Estimated Ultimately Recoverable (EUR) Oil, cit.

Ibid.

L.F. Ivanhoe, *Future World Oil Supplies. There Is a Finite Limit*, cit.; C.J. Campbell, *A Guide to Determining the World's Endowment and Depletion of Oil*, cit.; corrispondenza dell'autore con L.F. (Buz) Ivanhoe (4 marzo 2002), J.J. Campbell (15 marzo 2002) e J.H. Laherrère (22 febbraio 2002).

Colin J. Campbell, *The Next Oil Price Shock*, in «Energy Exploration and Exploitation», voi. 13, n. 1, 1955, p. 36.

Charles D. Masters *et al*, *World Petroleum Assessment and Analysis*, Atti del XIV World Petroleum Congress, John Wiley & Sons, 1994, p. 537; *Estimated Ultimately Recoverable (EUR) Oil*, cit.

³³ Corrispondenza dell'autore con J.H. Laherrère (22 febbraio 2002).

Ibid. Altri geologi presentano cifre leggermente diverse. Per esempio, John D. Edwards, della University of Colorado, riferisce che ci sono 25 miliardi di barili di greggio prodotti ogni anno contro 7 miliardi di barili di greggio economicamente sfruttabile scoperti (inclusi quelli nei giacimenti sottomarini di grande profondità), con un rapporto quindi, fra produzione e scoperta, di 3 a 1. Corrispondenza dell'autore con John Edwards (14 marzo 2002).

³⁷ 2002 to Mark Last Hurrah for North Sea OH, in «Petroleum Intelligence Weekly», 4 febbraio 2002, p. 4.

C.J. Campbell e J.H. Laherrère, *The End of Cheap OH*, cit., p. 82.

L.F. Ivanhoe, *Future World OH Supplies. There Is a Finite Limit*, cit.

Cutler J. Cleveland e Robert K. Kaufmann, *Why the Bush OH (Energy) Policy Will Fall*, 5 ottobre 2001 (<http://www.oilanalytics.org>); *Potential OH Production from the Coastal Plain of the Arctic National Wildlife Refuge. Updated Assessment*, EIA, maggio 2000; *Arctic National Wildlife Refuge, 1002 Area, Petroleum Assessment, 1998, Including Economic Analysis*, United States Geological Survey (USGS), aprile 2001.

H. Banks, *Cheap OH. Enjoy It While It Lasts*, cit., p. 84.

⁴⁰ *ibid.*

⁴³ *Total Midyear Population for the World. 1950-2050*, International Data Base, US Bureau of the Census, 10 maggio 2000.

W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 198.

Cit. in Joseph J. Romm e Charles B. Curtis, *Mideast OH Forever?*, in «The Atlantic Online», aprile 1996. Secondo l'EIA, la domanda mondiale di petrolio per il 2000 è stata compresa fra 74,47 e 76,62 milioni di barili al giorno. Cfr. *World Oil Demand 1997-2001*, EIA (<http://www.eia.doc.gov/emeu/ipsr/t24/rxt>).

Edward Carr, *Energy*, in «The Economist», 18 giugno 1994, pp. 3-18.

World OH Markets. International Energy Outlook 2001, EIA; Richard Reese, *OH and the Future*, 31 maggio 1997, p. 26 (http://www.unipri.it/~deyoung/oiland_the_future.htm); Seth Borenstein, *OH is Plentiful in World, But It'll Cost Us To Find It*, in «Akron Beacon Journal», 26 settembre 2000 (<http://www.ohio.com/bj/business/2000/September/26/docs/028918.htm>).

W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 204; *Long Term World OH Supply (A Resource Base/Production Path Analysis)*, cit.

⁴⁸ *Estimated Ultimately Recoverable (EUR) OH*, cit.; *US Geological Survey World Petroleum Assessment 2000 - Description and Results*, USGS World Energy Assessment Team.

John D. Edwards, *Twenty First Century Energy. Transition from Fossil Fuels to Renewable, Non polluting Energy Sources*, University of Colorado, Department of Geological Sciences - EMARC, aprile 2001; corrispondenza dell'autore con John Edwards (14 marzo 2002).

Ibid.

J.J. MacKenzie, *OH as a Finite Resource...*, cit.

M. King Hubbert, *The Energy Resources of the Earth*, in «Scientific American», settembre 1971, pp. 60-70; per ulteriori informazioni sulla curva di Hubbert si faccia riferimento allo M. King Hubbert Center for Petroleum Supply Studies della Colorado Schools ài Mines, fondata da L.F. (Buz) Ivanhoe (<http://hubbert.mines.com>).

⁵² C.J. Campbell e J.H. Laherrère, *The End of Cheap Od*, cit., p. 80.

53

54

⁵⁵ W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 203.

⁵⁶ C.J. Campbell e J.H. Laherrere, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 80.

⁵⁷ Corrispondenza dell'autore con L.F. (Buz) Ivanhoe (4 marzo 2002).

L.F. Ivanhoe, *Get Ready for Another Oil Shock!*, cit., p. 23.

⁵⁹ C.B. Hatfield, *How Long Can Oil Supply Grow?*, cit.

⁵⁸ *Ibid.*

⁶¹ J.J. MacKenzie, *Oil as a Finite Resource...*, cit.

H. Banks, *Cheap Oil. Enjoy It While It Lasts*, cit., p. 84.

⁶² Kenneth S. Deffeyes, *Hubbert's Peak. The Impending World of Oil Shortage*, Princeton (NJ), Princeton University Press, 2001, pp. 146,149.

⁶⁴ *Ivi*, p. 149.

«*Ibid.*

Carbon Emissions Set to Raise Steadily with Fossil Fuel Use; But IEA Indicates Ways to Halt Climate Changes Do Exist, comunicato stampa, International Energy Agency, 21 novembre 2000; *World Energy Outlook 1998*, International Energy Agency, 1998.

Roger O. Anderson, *Oil Production in the 21 Century*, in «Scientific American», vol. 278, n. 3, marzo 1998, pp. 86-91; Michael C. Lynch, *Closed Coffin. Ending the Debate on «The End of Cheap Oil». A Commentary* (<http://Arw.stanford.edu/sep/jon/world-oil.dir/lynch2.html>) .

J.J. MacKenzie, *Oil as a Finite Resource...*, cit.; *US Geological Survey World Petroleum Assessment 2000 - Description and Results*, USGS World Energy Assessment Team.

⁶⁸ Colin J. Campbell, *Prophet or Cassandra ?*, intervista in «Petroleum Economist», ottobre 1995.

⁷⁰ C.J. Campbell e J.H. Laherrere, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 81.

Estimated Ultimately Recoverable (EUR) Oil, cit.

⁷¹ Cit. in Richard A. Kerr, *The Next Oil Crisis Looms Large - And Perhaps Worse*, in «Science Magazine», agosto 1998, pp. 1128-31.

⁷³ M.C. Lynch, *Closed Coffin...*, cit.

⁷⁴ R.O. Anderson, *Oil Production in the 21 Century*, cit., p. 87.

⁷⁵ *Ivi*, p. 87.

Ivi, p. 88.

st

⁷⁶ C.J. Campbell e J.H. Laherrere, *The End of Cheap Oil*, cit., p. 82; R.O. Anderson, *Oil Production in the 21 Century*, cit., p. 88.

⁷⁸ Campbell, cit. in R. A. Kerr, *The Next Oil Crisis Looms Large*, cit.

⁷⁹ Bartlett, cit. in R. A. Kerr, *The Next Oil Crisis Looms Large*, cit.

³⁰ R.O. Anderson, *Oil Production in the 21 Century*, cit., pp. 86-91.

³¹ Cit. in R. Reese, *Oil and the Future*, cit.

W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 173.

Ivi, p. 172; *World Crude Oil and Natural Gas Reserves, January 1, 2000*, aggiornamento del 5 febbraio 2001 (<http://www.eia.doe.gov/emeu/table81.html>); *World Oil Supply, 1990-Present*, EIA (<http://www.eia.doe.gov/emeu/ipsr/t14.txt>); *World Oil Demand, 1997-2001*, EIA (<http://www.doe.gov/emeu/ipsr/t24.txt>) .

Petroleum 1996. Issues and Trends, EIA, p. 68; W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 111; *Survey of Current Business*, Bureau of Economic Analysis, Department of Commerce, gennaio 2001, p. 60.

- ⁸⁴ Nelson D. Schwartz, *Breaking OPEC's Grip*, in «Fortune Magazine»,
Dow Jones Publication Library, 2001.
Sabrina Tavernise, *Russians to Keep Limits on Oil Exports Through June*,
in «The New York Times», 21 marzo 2002, p. W1.
- ⁸⁷ Michael Wines e Sabrina Tavernise, *Russian Oil Production Still Soars,
Fog Better and Worse*, in «The New York Times», 21 novembre 2001, p. A3.
- ⁸⁹ *Ibid.*
- ⁹⁰ W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit, p. 188.
- ⁹¹ *Ivi*, p. 188.
Ivi, p. 180.
- ⁹² *Ivi*, p. 190.
J.J. Romm e C.B. Curtis, *Mideast Oil Forever?*, .cit.; W. Youngquist, *Geo-
Destinies...*, cit., p. 203.
Colin J. Campbell, *Myth of Spare Capacity Setting the Stage for Another
Oil Shock*, in «Oil and Gas Journal», 20 marzo 2000, p. 21.
- ⁹⁵ Colin J. Campbell, *Depletion Patterns Show Change due for Production of
Conventional Oil*, in «Oil and Gas Journal», 29 dicembre 1997, p. 37.
W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 189.
J.J. MacKenzie, *Oil as a Finite Resource...*, cit.
Joseph R Riva Jr, *World Oil Production After Year 2000. Business As Usual
Or Crises?*, Congressional Research Service, Library of Congress, 95-925,
agosto 1995.

1

III. L'energia e l'ascesa e caduta delle civiltà

2

- Leslie A. White, *The Evolution of Culture*, New York, McGraw-Hill
Company Inc., 1959, p. 33.
- ⁴ Howard T. Odum, *Environment, Power, and Society*, New York, Wiley-
Interscience, 1971, p. 49.
- ⁵ *Ivi*, p. 26.
Leslie A. White, *La scienza della cultura. Uno studio sull'uomo e la civiltà*,
trad. it. Firenze, Sansoni, 1969, p. 335.
- ⁷ George Grant MacCurdy, *Human Origins. A Manual of Prehistory*, New
York, D. Appleton and Company, 1924.
- ⁹ L.A. White, *La scienza della cultura*, cit., p. 339.
- ¹⁰ H.T. Odum, *Environment, Power, and Society*, cit., p. 27.
- ¹¹ L.A. White, *La scienza della cultura*, cit., p. 333.
- ¹² *Ibid.*
- ¹³ *Ivi*, p. 338.
- ¹⁴ *Ivi*, p. 334; L.A. White, *The Evolution of Culture*, cit., pp. 41-42.
- ¹⁵ Clive Ponting, *Storia verde del mondo*, trad. it. Torino, SEI, 1992, p. 298.
Ivi, p. 299.
Ivi, pp. 299-300.
Alfred North Whitehead, *La scienza e il mondo moderno*, trad. it. Mila-
no, Bompiani, 1959, p. 70.
- ¹⁶ Cit. in G. Tyler Miller Jr, *Energetics, Kinetics and Life*, Belmont (CA),
Wadsworth, 1971, p. 46.

- ¹⁸ Isaac Asimov, *In the Game of Energy and Thermodynamics You Can't Even Break Even*, in «Smithsonian», agosto 1970, p. 9.
- Frederick Soddy, *Matter and Energy*, Home University Series, London, Oxford University, 1912, p. 245.
- Harold F. Blum, *Time's Arrow and Evolution*, Princeton (NJ), Princeton University Press, 1968, p. 94.
- Erwin Schrodinger, *Che cos'è la vita?*, trad. it. Milano, Adelphi, 1995, pp. 123, 127.
- ²³ Leslie A. White, *Tools, Techniques and Energy*, in D. Hammond (a cura di) *Cultural and Social Anthropology*, New York, Macmillan, 1964, p. 28.
- ²⁵ G.T. Miller Jr, *Energetics, Kinetics and Life*, cit., p. 46.
- Ibid.*
- L.A. White, *Tools, Techniques and Energy*, cit., p. 28.
- Alfred J. Lotka, *Contribution to the Energetics of Evolution*, in «Proceedings of the National Academy of Science», 1922, vol. 8, p. 149; Id., *The Law of Evolution as a Marxian Principle*, in «Human Biology», n. 17, settembre 1945, p. 186.
- World Resources. A Guide to the Global Environment. A Report by World Resources Institute, United Nations Environment Programme, United Nations Development Programme, and the World Bank*, Oxford, Oxford University Press, 1996.
- ³⁰ W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 22.
- ³¹ *Ibid.*
- Ibid.*
- Ivi*, p. 32.
- World Resources...*, cit.; *Climate Change and Energy*, World Resources Institute, febbraio 2002; *Individual Emissions*, EPA Global Warming Site, Trends-Temperature, ottobre 2001 (<http://www.epa.gov/globalwarming/emissions/individual/index.html>).
- Renewing America's Infrastructure. A Citizen's Guide*, American Society of Civil Engineers, 2001, pp. 3, 6-7.
- ³⁵ John Locke, *Due trattati sul governo*, a cura di Luigi Pareyson, trad. it. Torino, UTET, 1982, p. 268.
- ³⁶ *Ivi*, pp. 263-64.
- Matthew Melko, *The Nature of Civilizations*, Boston, Porter Sargent, 1969, pp. 16-17.
- ³⁸ Oswald Spengler, *Il tramonto dell'Occidente. Lineamenti di una morfologia della Storia mondiale*, trad. it. Milano, Longanesi, 1957, p. 68.
- ³⁹ *Ibid.*
- Joseph A. Tainter, *The Collapse of Complex Societies*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, 1988, pp. 79-80.
- ⁴¹ Rushton Coulborn, *Structure and Process in the Rise and Fall of Civilized Society*, in «Comparative Studies in Society and History», vol. 8, 1966, p. 415.
- ⁴² J. A. Tainter, *The Collapse of Complex Societies*, cit.
- Jean-Philippe Levy, *L'economia antica*, trad. it. Napoli, Edizioni scientifiche italiane, 1984, p. 79.
- A.H.M. Jones, *The Later Roman Empire, 284-602. A Social, Economic and Administrative Survey*, Norman (OK), University of Oklahoma Press, 1964,

- 43 pp. 114-15; Tenney Frank, *An Economic Survey of Ancient Rome*, vol. V, *Rome and Italy of the Empire*, Baltimore, Johns Hopkins Press, 1940, pp. 7-9.
- 44 Edward Gibbon, *Storia della decadenza e caduta dell'impero romano*, 3 voll., trad. it. Torino, Einaudi, 1987, vol. I, p. 153; T. Frank, *An Economic Survey of Ancient Rome*, cit., p. 7.
- J.-P. Levy, *L'economia antica*, cit., p. 91.
- A.H.M. Jones, *L'economia romana. Studi di storia economica e amministrativa antica*, trad. it. Torino, Einaudi, 1984, pp. 151, 162, 176; Mason Hammond, *Economic Stagnation in the Early Roman Empire*, in «Journal of Economic History», Supplement, vol. 6, pp. 75-76.
- 49 J. A. Tainter, *The Collapse of Complex Societies*, cit., p. 133.
- Ivi*, p. 142.
- 50 *Ivi*, p. 145.
- Vladimir G. Simkhovitch, *Rome's Fall Reconsidered*, in «Political Science Quarterly», vol. 23, n. 2, giugno 1916, p. 226.
- William H. McNeill, *La peste nella storia. Epidemie, morbi e contagio dalla Vanichita all'eta contemporanea*, trad. it. Torino, Einaudi, 1981, p. 105; Donald J. Hughes, *Ecology in Ancient Civilizations*, Albuquerque, University of New Mexico Press, 1975, p. 131.
- 54 J. A. Tainter, *The Collapse of Complex Societies*, cit., p. 144.
- 55 *Ibid.*
- 56 V.G. Simkhovitch, *Rome's Fall Reconsidered*, cit., p. 226.
- J. A. Tainter, *The Collapse of Complex Societies*, cit., p. 150.
- Ibid.*
- Ancient Rome*, in *Encarta Online Encyclopedia*, 2001; Kenneth Harl, *Early Medieval and Byzantine Civilization. Constantine to Crusades* (<http://www.tulane.edu/~august/H303/handouts/Population.htm>) .

1

IV. *Vera dei combustibilifossili*

G. Tyler Miller Jr, *Living in the Environment*, Willard (OH), Brooks-Cole Publishing Co., 2001; Jim H. MacKenzie e M.P. Walsh, *Driving Forces. Motor Vehicle Trends and Their Implications for Global Warming, Energy Strategies, and Transportation Planning*, World Resources Institute, 1990; Lester R. Brown, *Paving the Planet Cars and Crops Competing for Land*, Worldwatch Issue Alert Worldwatch Institute, 14 febbraio 2001.

Number of US Aircraft, Vehicles, Vessels, and Other Conveyances, Bureau of Transport Statistics of the US Department of Transportation; *Regional Jet Aircraft*, in «Flight International» ottobre 1997; *Top 20 World Merchant Fleets by Country of Owner*, The Maritime Administration of the US Department of Transportation, 8 febbraio 2002; Gudrun Petursdottir, Olafur Hannibalsson e Jeremy M.M. Turner, *Natalities in Fisheries». Safety at Sea As an Integral Part of Fisheries Management*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001.

J.J. MacKenzie, *Oil as a Finite Resource...*, cit.

Ibid.

W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 197.

6 Sam H. Schurr e Bruce C. Netschert, *Energy in the American Economy*

7
1850-1975. *An Economic Study of its History and Prospects*, Baltimore, Johns Hopkins Press, 1960, p. 31.

C. Ponting, *Storia verde del mondo*, cit., pp. 318-19.

⁹ *World Consumption of Primary Energy by Selected Country Groups (Btu) 1990-1999*, EIA, aggiornamento del 1° febbraio 2001 (<http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/table18.html>).

¹¹ W.H. McNeill, *La peste nella storia...*, cit., p. 150.

¹² Lewis Mumford, *Tecnica e cultura*, trad. it. Milano, Il Saggiatore, 1964, pp. 139-40.

Ivi, p. 140.

¹⁴ Jeremy Rifkin, *Entropia*, trad. it. Milano, Mondadori, p. 84.

¹⁵ Edmund Howes (a cura di), *Stow's Annals*, London, 1631, cit. in W.H.G. Armytage, *Social History of Engineering*, London, 1961.

¹⁶ J. Rifkin, *Entropia*, cit., pp. 84-85.

¹⁷ Richard Wilkinson, *Poverty and Progress*, New York, Praeger, 1973, pp. 90, 102.

¹⁸ C. Ponting, *Storia verde del mondo*, cit., p. 324.

¹⁹ Robert Anderson, *Fundamentals of the Petroleum Industry*, Norman, University of Oklahoma Press, 1984, p. 2.

²¹ *Ivi*, pp. 9, 15, 19.

Ivi, p. 20.

²⁰ *Ibid.*

Ivi, pp. 20-22, 29-30; Daniel Yergin, *Il premio*, trad. it. Milano, Sperling & Kupfer, 1991, pp. 186-87.

²³ John B. Rae, «The Internal Combustion Engine on Wheels», in *Technology in Western Civilization*, vol. II, a cura di Melvin Kranzberg e Carroll W. Pursell Jr, New York, Oxford University Press, 1967, p. 120.

²⁶ R. Anderson, *Fundamentals of the Petroleum Industry*, cit., p. 22.

D. Yergin, *Il premio*, cit., p. 185.

²⁷ A.Q. Mowbray, *Road to Ruin*, Philadelphia, Lippincott, 1969, p. 15.

K.R. Schneider, *Autokind vs. Mankind*, New York, Schocken, 1972, p. 123.

The Dramatic Story of Oil's Influence on the World, in «Oregon Focus», gennaio 1993, pp. 10-11.

Randolph S. Churchill, *Winston S. Churchill*, vol II, *Young Statesman, 1901-1917*, Boston, Houghton Mifflin, 1967, pp. 545-47.

³⁰ John Arbuthnot Fisher, *Fear God and Dread Nought. The Correspondence of Admiral of the Fleet Lord Fisher of Kilverstone*, 2 voll., a cura di Arthur J. Marder, Cambridge (MS), Harvard University Press, 1952, p. 404.

³² R.S. Churchill, *Winston S. Churchill*, vol. II, cit., p. 1964.

³³ Basil Liddell Hart, *La prima guerra mondiale, 1914-1918*, trad. it. Milano, Rizzoli, 1968.

³⁴ D. Yergin, *Il premio*, cit., p. 163.

Nuremberg Military Tribunals, *Trials of War Criminals*, vol. VII, Washington, DC, GPO, 1953, pp. 793-803.

D. Yergin, *Il premio*, cit., p. 290.

³⁵ US Strategic Bombing Survey, Oil Division, *Final Report* (2^a ed.), Washington, DC, USSBS, 1947.

- ³⁷ Michael Economides e Ronald Oligney, *The Color of Oil. The History, the Money and the Politics of the World's Biggest Business*, Katy (TX), Round Oak Publishing, 2000, p. 75.
- ³⁹ D. Yergin, *Il premio*, cit., p. 294.
- ⁴⁰ M. Economides e R. Oligney, *The Color of Oil...*, cit., p. 76; D. Yergin, *Il premio*, cit., p. 309.
- ⁴² W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 48.
- M. Economides e R. Oligney, *The Color of Oil...*, cit, p. 100.
- ⁴³ R. Anderson, *Fundamentals of the Petroleum Industry*, cit., p. IX.
- Ann Zimmermann, *Wal-Mart Stores Profit Rises 92% As Consumer Shop for Bargains*, in «The Wall Street Journal», 20 febbraio 2002.
- Ranking the World's Top Oil Companies*, Energy Intelligence Group, 2001, p. 5.
- ⁴⁵ Tyson Slocum, *No Competition. Oil Industry Mergers Provide Higher Profits, Leave Consumers with Fewer Choices*, Washington, DC, Public Citizen's Critical Mass Energy and Environment Program, 31 maggio 2001, p. I.
- ⁴⁶ *Ibid.*
- ⁴⁸ *Ibid.*
- ⁴⁹ *Ibid.*
- ⁵⁰ *Ibid.*
- ⁵¹ M. Economides e R. Oligney, *The Color of Oil...*, cit., p. 83.
- ⁵² *Ivi*, p. 84.
- ⁵³ *Ivi*, p. 85.
- ⁵⁴ *Ivi*, p. 86.
- ⁵⁵ *Ivi*, p. 89.
- R. Anderson, *Fundamentals of the Petroleum Industry*, cit., p. 271.
- ⁵⁷ W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit, pp. 165-66.
- R. Anderson, *Fundamentals of the Petroleum Industry*, cit., pp. 271-77.
- ⁵⁶ *Ivi*, pp. 279, 286, 289.
- Alfred D. Chandler Jr, *La mano visibile. La rivoluzione manageriale nell'economia americana*, trad. it. Milano, Franco Angeli, 1981, pp. 171 e figg. 1-3, 172-73.
- ⁶⁰ Stanley Legerbott, *United States Transport and Externalities*, in «Journal of Economic History», vol. 26, dicembre 1966, pp. 444-46.
- ⁶² A.D. Chandler Jr, *La mano visibile...*, cit., pp. 181-82.
- ⁶³ *Ivi*, pp. 175-76.
- Ivi*, p. 222.
- ⁶⁴ *Ivi*, pp. 179, 343.
- Stephen Kern, *Il tempo e lo spazio. La percezione del mondo tra Otto e Novecento*, trad. it. Bologna, Il Mulino, 1995, p. 19.
- David S. Landes, *Storia del tempo. L'orologio e la nascita del mondo moderno*, trad. it. Milano, Mondadori, 1984, p. 291.
- ⁶⁷ Frederick Winslow Taylor, *Principi di organizzazione scientifica del lavoro*, trad. it. Milano, Franco Angeli, 1975, pp. 66-67.
- ⁶⁸ *Ivi*, p. 76.
- Daniel Bell, *The Clock Watchers. Americans at Work*, in «Time» 8 settembre 1975, p. 55.
- Corporate Mergers*, Federal Trade Commission, 1963, p. 176.
- ⁶⁹ Michael Renner, *Corporate Mergers Skyrocket*, in «Vital Signs», Washington, DC, Worldwatch Institute, 2000 (<http://www.globalpolicy.org>).

71

⁷² Saul Hansell, *America Online Agrees to Buy Time Warner for \$165 Billion; Media Deal is Richest Merger*, in «The New York Times», 1° gennaio 2000, p. A1.

M. Renner, *Corporate Mergers Skyrocket*, cit.

Sarah Anderson e John Cavanagh, *Top ZOO. A Profile of Global Corporate Power*, Washington, DC, Interhemispheric Resource Center, 1996, p. 3.

1

V. *L'incognita islamica*

2

Daniel Pipes, *In the Path of God. Islam and Political Power*, New York, Basic Books Inc., 1983, p. 288.

Neela Banerjee, *World Oil at a Glance*, in «The New York Times», 14 ottobre 2001, p. C1.

⁴ *Britannica Book of the Year*, Chicago, Encyclopedia Britannica Inc., 1999; *The World Factbook 2001*, Central Intelligence Agency (CIA); *Facts About Islam*, Harvard Islamic Society (<http://www.digitas.harvard.edu/~facts.html>).

⁶ Martin Wolf, *The Economic Failure of Islam*, in «Financial Times», 26 settembre 2001, p. 17.

Ibid.

⁸ Cit. in D. Pipes, *In the Path of God...*, cit., p. 281.

⁹ Dennis Overbye, *Islamic Science. Rise and Fall*, in «International Herald Tribune», 1° novembre 2001, p. 8.

Ibid.

¹⁰ Francesco Bacone, «Nuovo organo, o veri indizi dell'interpretazione della natura» [1620], Libro 1, aforisma 73, trad. it. di E. De Mas, in *Opere Hlqsofiche*, Bari, Laterza, 1965, vol. I, p. 290.

F. Bacone, «Nuovo organo», Libro 1, aforisma 71, cit., p. 289.

¹³ F. Bacone, «Nuovo organo», cit.

Jean-Antoine Condorcet, *Saggio di un quadro storico dei progressi dello spirito umano*, trad. it. di G. Calvi, Roma, Editori Riuniti, 1974, p. 48.

¹⁵ Lawrence Davidson, *Islamic Fundamentalism*, Westport (CT), Greenwood Press, 1998, pp. 12-13.

D. Pipes, *In the Path of God...*, cit., p. 285.

¹⁶ *Oil Price History and Analysis*, in «Energy Economics Newsletter», WTRG Economics (<http://www.wtrg.com/prices.htm>); D. Pipes, *In the Path of God...*, cit., p. 290.

¹⁹ D. Pipes, *In the Path of God...*, cit., p. 290.

²⁰ *Ibid.*

²¹ *Ivi*, p. 294.

²² D. Yergin, *Il premio*, cit., p. 498.

²³ *Ivi*, p. 500.

²⁴ *Ivi*, p. 505.

²⁵ *Ivi*, pp. 506-07.

²⁶ *Ivi*, p. 513.

Ivi, pp. 514-15.

Ivi, p. 516.

Ivi, p. 521.

²⁷ Udo Steinbach, *Saudi Arabiens neue Rolle im Nahen Osten*, in «Aussenpolitik», n. 25, 1974, p. 210.

²⁹ Anthony H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, settembre 1999, p. VI (<http://www.csis.org/mideast/reports/Meenergy.html>).

F. Gregory Gause III, *Oil Monarchies: Domestic and Security Challenges in the Arab Gulf States*, New York, Council on Foreign Relations Press, 1994, p. 43.

³² *Ivi*, pp. 58-59.

Ivi, p. 69.

³⁴ A.H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, cit., p. 13.

³³ *Md.*

³⁶ *Ibid.*

³⁷ W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 119.

Ivi, pp. 133-35.

³⁸ *International Financial Statistics*, versione CD-ROM, International Monetary Fund, 2000; «Saudi Arabia», in *The World Factbook 2001*, cit.

³⁹ A.H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, cit., p. 28; «Saudi Arabia», in *The World Factbook 2001*, cit.

⁴⁵ A.H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, cit., p. 29.

⁴⁶² *Ivi*, pp. 29-31; «Saudi Arabia», in *The World Factbook 2001*, cit.

A.H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, cit., p. 31.

- ⁴⁷ *Ibid.*

- *Ibid.*

Ivi, pp. XI, 30.

M. Wolf, *The Economic Failure of Islam*, cit., p. 17.

Robert Worth, *The Deep Intellectual Roots of Islamic Terror*, in «The New York Times», 13 ottobre 2001, p. A13.

Fareed Zakaria, *Why Do They Hate Us?*, in «Newsweek», 15 ottobre 2001, p. 33.

⁴⁸ p); Waldman e Hugh Pope, «Crusade Reference Reinforces Fears on War on Terrorism Is Against Muslims», in «The Wall Street Journal», 21 settembre 2001, p. A1.

⁵⁴ Douglas Jehl, *A Saudi Prince With an Unconventional Idea: Elections*, in «The New York Times», 28 novembre 2001, p. A3.

Karen Armstrong, *Islam. A Short History*. New York, The Modern Library, 2000, p. 160.

⁵⁶ L. Davidson, *Islamic Fundamentalism*, cit., pp. 14-15.

Douglas Jehl, *Democracy's Uneasy Steps in Islamic World*, in «The New York Times», 23 novembre 2001, p. A1.

⁵⁷ *Ivi*, p. A10.

Ibid.

Tom Ashby, *World Oil Prices Soar on Iraq's Decision*, in «Reuters», 8 aprile 2002; Hassan Hafidh, *Iraq Suspends Oil Exports to Support Palestinians*, in «Reuters», 8 aprile 2002.

Nazila Fathi, *Iranian Urges Muslims to Use Oil as a Weapon*, in «The New York Times», 6 aprile 2002, p. A9; H. Hafidh, *Iraq Suspends Oil Exports to Support Palestinians*, cit.

Ward Pincus, *Gulf Officials Say Oil Boycott of United States Not Practical*, in «The Associated Press», 3 aprile 2002.

Ibid.

Ibid.

J.J. Romm e C.B. Curtis, *Mideast Oil Forever?*, cit.

1

VI. *Un collasso globale*

2

Jesse H. Ausubel, *Energy and Environment. The Light Path*, in «Energy Systems and Policy», vol. 15, 1991 (http://phe.rockefeller.edu/light_path).

4 *Energy Needs, Choices and Possibilities. Scenarios to 2050*, Shell Oil International, 2001 (<http://www2.shell.com>).

5 A.H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, cit., p. 26.

Natural Gas Consumption in the United States, 1996-2002, in «Natural Gas Monthly», EIA, febbraio 2002.

Corrispondenza dell'autore con Richard Duncan, direttore dell'Institute on Energy and Man (18 marzo 2002).

7 *Market Trends - Oil & Natural Gas*, in «Annual Energy Outlook 2001», Report #, DOE/EIA-0383(2001), 22 dicembre 2000 (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/gas.html>).

Ibid.

10 Corrispondenza dell'autore con Richard Duncan (18 marzo 2002).

11 Warren R. True, *Major Gas Projects Fuel Surge in Long-Term Plans*, in «Oil and Gas Journal», 5 febbraio 2001, p. 62.

13 Corrispondenza dell'autore con Richard Duncan (18 marzo 2002).

Ibid.

12 *Ibid.*

14 Richard C. Duncan, *The Peak of World Oil Production and the Road to the Olduvai Gorge*, in «Pardec Keynote Symposia», Geological Society of America Summit 2000, Reno (NE), 13 novembre 2000.

16 W. Youngquist, *GeoDestinies...*, cit., p. 196.

17 C.J. Campbell, *Depletion Patterns Show Change due for Production of Conventional Oil*, cit., p. 37.

A.H. Cordesman, *Geopolitics and Energy in the Middle East*, cit., p. 26.

World Energy Outlook 1998, cit.

20 John P. Holdren, *The Energy Climate Challenge. Issues for the New US Administration*, in «Environment», giugno 2001.

Ibid.

Coal, in «Annual Energy Outlook 2001», marzo 2001 (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>).

The Energy Information Administration (EIA) Recently Updated the Energy, in «Electrical World», vol. 215, n. 4, luglio 2001, p. 14.

24 Lawrence A. Ruth, *Advanced Coal-Fired Power Plants*, in «Journal of Energy Resources Technology*», vol. 123, marzo 2001, p. 4.

25 *Coal*, cit.

26 Nancy Dunne, *King Coal Makes a Comeback*, in «Financial Times», 8 agosto 2001.

Ibid.

C.B. Hatfield, *How Long Can Oil Supply Grow?*, cit.

Ibid.

28 Douglas Lanier, *Heavy Oil - A Major Energy Source for the 21st Century*,

UNITAR Centre for Heavy Crude and Tar Sands, n. 1998.039,1998, p. 1; Richard L. George, *Mining for Oil*, in «Scientific American», vol. 278, n. 3, marzo 1998, pp. 84-85; Charles D. Masters, Emil D. Attanasi e David H. Root, *World Petroleum Assessment and Analysis*, USDOE World Petroleum Conference, 5 ottobre 2001 (<http://energy.er.usgs.gov/products/papers/WPC/14/text.htm>).

³¹ R.L. George, *Mining for Oil*, cit., pp. 84-85.

D. Lanier, *Heavy Oil - A Major Energy Source for the 21 Century*, cit., p. 2.

George J. Stosur *et al*, *Tar Sands - Technology, Economics, and Environmental Issues for Commercial Production Beyond Year 2000*, United Nations Institute for Training and Research - International Centre for Heavy Hydrocarbons, n. 1998.002, p. 1.

D. Lanier, *Heavy Oil - A Major Energy Source for the 21 Century*, cit., pp. 1-2.

³⁴ Guntis Moritis, *Massive Oil Resource to be Targeted by New EOR Techniques*, in «Oil and Gas Journal», 13 dicembre 1999 (http://www.findarticles.com/cf_0m3112/50_97/58500622/print.jhtml).

D. Lanier, *Heavy Oil - A Major Energy Source for the 21 Century*, cit., p. 2.

³⁶ O. Haaland, R. Klovning e T. Sem, *The Future of the World's Extra Heavy Oil Resources - Competition and Potential*, UNITAR Centre for Heavy Crude and Tar Sands, n. 1998.008,1998, p. 4.

What We Do at Syncrude, Syncrude, 2001 (http://www.syncrude.com/who_we_are/01_04.html).

Shell Canada, Chevron Begins Oilsands Project, in «Business and Industry», vol. 15, n. 1, gennaio 2000, p. 6.

⁴⁰ N.D. Schwartz, *Breaking OPEC's Grip*, cit.; D. Lanier, *Heavy Oil - A Major Energy Source for the 21 Century*, cit., p. 2.

⁴² N.D. Schwartz, *Breaking OPEC's Grip*, cit.

Ibid.; G.J. Stosur *et al*, *Tar Sands...*, cit., p. 4.

⁴³ N.D. Schwartz, *Breaking OPEC's Grip*, cit.

⁴⁴ Corrispondenza dell'autore con Jean H. Laherrere (4 marzo 2002); A. Nikiforuk, *The Next Gas Crisis*, in «Canadian Business», 20 agosto 2001.

G.J. Stosur *et al.*, *Tar Sands...*, cit., p. 4.

⁴⁵ Alex Sapre *et al*, *Synthetic Fuels, Carbon Dioxide and Climate*, in R.A. Reck e J.R. Hummel (a cura di), *Responsible Interpretation of Atmospheric Models and Related Data*, American Institute of Physics Press, 1982, p. 135.

G.J. Stosur *et al*, *Tar Sands...*, cit., p. 4.

⁴⁷ Daniel L. Albritton *et al*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, 2001, p. 7 (<http://earth.usgcrp.gov/ipcc/wglspm.pdf>).

Ibid.

⁵⁰ *Ibid.*

⁵¹ John Houghton, *Global Warming. The Complete Briefing*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, 1977, p. 22.

Ivi, p. 12.

D.L. Albritton *et al*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001*, cit., p. 2.

- 52
- 53
- 54
- 55 *Ivi*, p.13.
- 56 *Ibid.*
Global Warming. Facts vs. Myth, Environmental Defense (http://www.environmentaldefense.org/pubs/FactSheet/e_GWFact2.html).
- 57 Michael D. Lemonick, *Life in the Greenhouse*, in «Time», 9 aprile 2001, p. 27.
- 58 *Ibid.*
- 59 *Ivi*, p.25.
- 60 *Ivi*, p.27.
- 61 *Ibid.*
 Richard Monastersky, *The Long Goodbye*, in «New Scientist», n. 2286, 14 aprile 2001, p. 31.
- 62 D.L. Albritton *et al.*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001*, tit. 4.
- 63 *Ibid.*
- 64 *Ivi*, pp. 4,16.
- 65 Fred Pearce, *Washed Off the Map*, in «New Scientist», n. 2266, 25 novembre 2000, p. 5.
- 66 *Ibid.*
- 67 JMd.
- 68 *Ibid.*; M.D. Lemonick, *Life in the Greenhouse*, cit., p. 29.
- 69 J. Houghton, *Global Warming. The Complete Briefing*, cit., p. 114.
- 70 *Ivi*, pp. 11,13.
- 71 D.L. Albritton *et al.*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001*, cit., p. 4.
- 72 *Ibid.*; W.W. Weather, in «New Scientist», 16 settembre 2000, p. 29.
- 73 Q.K. Ahmad *et al.*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, febbraio 2001, p. 13 (<http://earth.usgcrp.gov/ipcc/wg2spm.pdf>).
- 74 G.C. Hurtt e S. Hale, «Future Climates of the New England Region», in *Preparing for a Changing Climate. The New England Regional Assessment Overview*, a cura del New England Regional Assessment Group, US Global Change Research Program, University of New Hampshire, 2001.
- 75 J. Houghton, *Global Warming. The Complete Briefing*, cit., p. 127.
- 76 *Ibid.*
- 77 *Ibid.*
- 78 Tim Beardsley, *In the Heat of the Night*, in «Scientific American», ottobre 1998, p. 20.
- 79 *Ibid.*
- 80 Fred Pearce, *Violent Future*, in «New Scientist», 21 luglio 2001, p. 4.
- 81 Fred Pearce, *Global Green Belt*, in «New Scientist», 15 settembre 2001, p. 15.
- 82 Q.K. Ahmad *et al.*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, cit., p. 11.
- 83 Steve Connor, *British Association. Coral Reefs Will All Die Within 50 Years, Study Finds Constantly Rising Sea Temperatures are Causing the Bleaching and Death of Fragile Sea Structures, Warns Marine Specialist*, in «Financial Times», 6 settembre 2001.

- ⁸⁴
⁸⁵ Fred Pearce, *A Searing Future*, in «New Scientist», 11 novembre 2000, p. 15.
- ⁸⁶ M.D. Lemonick, *Life in the Greenhouse*, cit., p. 28.
- ⁸⁷ Q.K. Ahmad *et al.*, *Summary for Policy Makers. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, cit., p. 8.
- ⁸⁸ *Ivi*, p. 12.
- ⁸⁹ J. Houghton, *Global Warming. The Complete Briefing*, cit., p. 132.
- R.B. Alley, *The Younger Dryas Cold Interval As Viewed From Central Greenland*, in «Quaternary Science Review», vol. 19, 2000, pp. 213-26.
- ⁹¹ *Abrupt Climatic Change: Inevitable Surprises*, The National Academy of Sciences, Washington, DC, National Academy Press, 2002, p. 10.
- ⁹² *Ivi*, p. 118.
- ⁹³ *Ivi*, p. 92.
- Ivi*, p. 86.
- D.M. Peteet *et al.*, *Late-glacial Pollen, Macrofossils, and Fish Remain in Northeastern USA - The Younger Dryas Oscillation*, in «Quaternary Science Review», vol. 12, 1993, pp. 597-612; P.S. Martin, *Prehistoric Overkill. The Global Model*, in P.S. Martin e R.G. Klein (a cura di), *Quaternary Extinctions*, Tucson (AZ), University of Arizona Press, 1984, pp. 354-403.
- J. Overpeck, *Warm Climate Surprises*, in «Science», vol. 271, 1996, pp. 1820-21; *Abrupt Climatic Change: Inevitable Surprises*, cit., p. 113.
- Abrupt Climatic Change: Inevitable Surprises*, cit., pp. 88, 119.

1

VII. I punti deboli lungo le giunture

² *Gulf War Facts. The Coalition*, CNN News Online (<http://www.cnn.com/SPECIALS/2001/Gulf.war/facts/gulfwar/index.html>).

Ibid.; *Conduct of the Persian Gulf War*, rapporto finale del Department of Defense al Congresso degli Stati Uniti, aprile 1992, appendice P.

⁴ Shibley Telhami, *Fighting for Oil*, trascrizione della registrazione, Washington, DC, America's Defense Monitor, Center for Defense Information, 28 gennaio 1996.

⁶ *Ibid.*

⁷ Amy Cortese, *New York's Setback Expected to Be Deeper than Nation's*, in «The New York Times», 17 dicembre 2001, p. C4.

⁸ *Ibid.*

Alan J. Wax, *Unemployment Rate in NYC Hits 7.4%*, 18 gennaio 2002 (<http://www.newsday.com>).

⁹ Martin Neil Bailey, *Economic Policy Following the Terrorist Attack*, Institute for International Economics (<http://www.icc.com/policybriefs/news01-10.htm>).

Attacks May Cost U.S. 1.8 Million Jobs, in «The New York Times», 13 gennaio 2002, p. A16.

Decrease in Tourism Demand Signals the Loss of Millions of Jobs Worldwide, London, World Travel and Tourism Council, 25 settembre 2001.

Ibid.

¹² «Declaration of Global Travel and Tourism Associations», 2 ottobre 2001.

¹⁵ *Decrease in Tourism Demand...*, cit.

Mike Allen e Amy Goldstein, *Security Funding Tops New Budget*, in *The Washington Post*, 20 gennaio 2002, p. A1.

Todd Purdum e Howard W. French, *U.S. Makes Pledge for \$300 Million in Aid to Afghans*, in «*The New York Times*», 21 gennaio 2002, p. A1.

Lena H. Sun e Jacqueline L. Salmon, *U.S. Sets Formula to Pay Victims*, in «*The Washington Post*», 21 dicembre 2001, p. A1; Raymond Hernandez, *Negotiators Back \$8.2 Billion in Aid for New York City*, in «*The New York Times*», 19 dicembre 2001, p. A1; Lizette Alvarez e Stephen Labaton, *A Nation Challenged. The Bailout; An Airline Bailout*, in «*The New York Times*», 22 settembre 2001, p. A1.

President Establishes Office of Homeland Security, Washington, DC, The White House (<http://www.whitehouse.gov/news/releases/2001/10/ri011008.html>); *Homeland Security and the President's Budget Priorities*, Washington, DC, The White House (<http://www.whitehouse.gov/homeind>).

Lawmakers Approve Anti-Terrorism Funds Package, in «*Reuters*», 18 dicembre 2001.

²⁰ Alison Mitchell, *A National Challenged. The Domestic Front; Ridge Frames Security Funds for States in Next U.S. Budget*, in «*The New York Times*», 7 dicembre 2001, p. B7.

Chuck Schoffner, *Microbiologist Favors Flyover Bans*, in «*The Los Angeles Times*», 21 settembre 2001.

²² Nicholas Horrocks, *The New Terror Fear - Biological Weapons: Detecting an Attack Is Just the First Problem*, in «*US News and World Report*», 12 maggio 1997, p. 36.

Ibid.

²⁵ *Ibid.*

Leonard A. Cole, *The Specter of Biological Weapons*, in «*Scientific American*», dicembre 1996, p. 62.

John Gever, *Beyond Oil*, Denver (CO), University Press of Colorado, 1997, p. 172.

David Goodman *et al*, *From Farming to Biotechnology. A Theory of Agricultural Development*, New York, Basil Blackwell, 1987, p. 25.

²⁹ Willard Cochrane, *Development of American Agriculture. A Historical Analysis* (2 ed.), Minneapolis, University of Minnesota Press, 1993, p. 126.

³⁰ *Ivi*, p. 197.

Lester R. Brown *et al*, *State of the World 1990. Rapporto sul nostro pianeta del WorldWatch Institute*, trad. it. Torino, ISEDI-Petrini, 1990, p. 113.

³¹ *Pesticide Industry Sales and Usage: 1986 Market Estimates*, Economic Analysis Branch, Benefits and Use Division, Office of Pesticides Programs, Environmental Protection Agency, agosto 1987.

³³ *Why Job Growth Is Stalled*, in «*Fortune*», 8 marzo 1993, p. 52.

³⁴ *The Mechanization of Agriculture*, in «*Scientific American*», settembre 1932, p. 77.

W Cochrane, *Development of American Agriculture*, cit., pp. 137,158-59.

Peter Farb, *Humankind*, Boston, Houghton Mifflin, 1978, pp. 181-82.

³⁵ J. Rifkin, *Entropia*, cit., p. 154.

³⁷ *Environmental Quality*, Ninth Annual Report of the Council on Environmental Quality, Washington, DC, US Government Printing Office, dicembre 1978, p. 270.

³⁹ Wilson Clark, *Energy for Survival*, Garden City (NY), Doubleday/Anchor Books, 1975, p. 170.

C. Ponting, *Storia verde del mondo*, tit., p. 323.

⁴⁰ Donn A. Reimund e Judith Z. Kalbacher, *Characteristics of Large-Scale Farms, 1987*, Washington, DC, USDA Economic Research Service, aprile 1993, p. III.

⁴¹ *The Developing World's New Burden: Obesity*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, gennaio 2002 (<http://www.fao.org/FOCUS/E/obesity/obesl.htm>).

C. Ponting, *Storia verde del mondo*, cit., p. 444.

Brian Halweil, *Worldwatch Press Briefing on the Global Trends in Meat Consumption*, Worldwatch Institute, 2 luglio 1998 (<http://www.worldwatch.org/alerts>); Alan B. Durning, *Cost of Beef for Health and Habitat*, in «The Los Angeles Times», 21 settembre 1986, p. 3.

Sulla base di un consumo annuo pro capite di circa 30 chilogrammi di carne. I dati e i confronti relativi alle emissioni di CO₂ delle automobili sono tratti da Andrew Kimbrell, «On the Road», in J. Rifkin (a cura di), *The Green Lifestyle Handbook*, cit.

Sulla base di dati tratti da David Pimentel, *Food, Energy and Society*, Ithaca (NY), College of Agriculture and Life Sciences and Division of Nutritional Sciences, Cornell University (<http://www.unu.edu/unupress/food/8F072e/8F072E06.htm>). Statistiche calcolate da Steve Morningthunder, dell'Istituto de Fisica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

⁴⁷ C. Ponting, *Storia verde del mondo*, tit., p. 266.

Richard Newbold Adams, *Energy and Structure. A Theory of Social Power*, Austin (TX), University of Texas Press, 1975, p. 266.

⁴⁸ Kirkpatrick Sale, *The Polls Perplexity. An Inquiry into the Size of Cities*, Working Papers, gennaio-febbraio 1978, p. 66; Barbara Ward, *La casa del Vuoto*, trad. it. Milano, Mondadori, 1976, pp. 16-17.

«Cities at the Forefront», in *Population Reports*, Johns Hopkins University, 2001 (<http://www.jhuccp.org/pr/urbanpre.stm>).

A. Wolman, *The Metabolism of Cities*, in «Scientific American», n. 213, 1965, pp. 178-90.

⁵² John Schwartz, *Securing the Lines of a Wired Nation*, in «The New York Times», 4 ottobre 2001, p. F8.

⁵¹ *Ibid.*

65 Northeast Power Loss Was Shorter, But Bigger, in «The Washington Post», 15 luglio 1977, p. A10.

Ibid.; Clyde Haberman, *'77 Blackout: The Heart of Darkness*, in «The New York Times», 11 luglio 1997, p. B1.

⁵⁵ Rich Connell, *Massive Power Outage Hits 7 Western States*, in «The Los Angeles Times», 11 agosto 1996, p. A1; Martha L. Willman, *Customers Will Foot Bill for Outage Repairs*, in «The Los Angeles Times», 19 ottobre 1996, p. D1.

William Booth, *800,000 Lose Power in California As Blackouts Roll Across the State*, in «The Washington Post», 20 marzo 2001, p. A8.

⁵⁷ Peter W. Huber, *Dig More Coal - The PCs Are Coming*, in «Forbes Magazine», 31 maggio 1999, p. 70.

⁶⁰ *Ibid.*

Ibid.

Ivi, p.71.

⁶¹ Amory B. Lovins e L. Hunter Lovins, *Brittle Power. Energy Strategy for National Security*, Andover (MA), Rocky Mountain Institute, Brick House Publishing Co., Inc., 2002, p. 35.

⁶⁴ *Ivi*, pp. 36-37.

Ivi, p. 39.

Ibid.

M.M. Stephens, «The Oil and Natural Gas Industries. A Potential Target of Terrorists», in R. Kupperman e D. Trent (a cura di), *Terrorism: Threat, Reality, Response*, Stanford University, Hoover Institution Press, 1980, p. 206; Id., *Vulnerability of Total Petroleum Systems*, Washington, DC, May Report to Defense Civil Preparedness Agency, #DAHC20-70-C-0315, DCPA Work Unit 4362A, 1973.

⁶⁷ A.B. Lovins e L.H. Lovins, *Brittle Power...*, cit., pp. 46-47; M.M. Stephens, *Vulnerability of Total Petroleum Systems*, cit.

A.B. Lovins e L.H. Lovins, *Brittle Power...*, cit., p. 59.

M.M. Stephens, *Vulnerability of Total Petroleum Systems*, cit.

⁶⁸ *National Energy Transportation*, Congressional Research Service, vol. III, Report to US Senate Committees on Energy and Natural Resources and on Commerce, Science and Transportation, maggio 1977, USGPO #9-15, pp. 159-60.

⁷⁰ *Civil Preparedness Review*, Joint Committee on Defense Production, Joint Committee Print, US Congress, 95* Congress, 1 Session, febbraio 1977, USGPO, vol. A, p. 1.

A.B. Lovins e L.H. Lovins, *Brittle Power...*, cit., p. 127.

J. Beyea, *Some Long-Term Consequences of Hypothetical Major Releases of Radioactivity to the Atmosphere from Three-Miles Island*, Report PU/CEES#109 to President's Council on Environmental Quality, Princeton (NJ), Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, 1980.

⁷³ *Protection of Electric Power Systems*, Defense Electric Power Administration. Research Project 4405, Washington, DC, Department of the Interior, giugno 1962, pp. 25-26.

Civil Preparedness Review, cit., p. 87.

BP Amoco Statistical Review of World Energy, London, BP Amoco, 2000 (<http://www.bpamoco.com/worldenergy>), pp. 11,40.

1

VIII. L'avvento dell' 'economia dell'idrogeno

Jules Verne, *L'isola misteriosa*, trad. it. Milano, U. Mursia & C, 1966, p. 236.

³ Bill Moore, *The Day the World Came to Its Sense?*, in «EV World», 12 ottobre 2001 (<http://www.evworld.com/databases/storybuilder.cfm?storyid=245>).

«Hydrogen», in *The Columbia Encyclopedia*, 6^a ed., Columbia University Press, 2001.

⁵ Nebojsa [Nakicenovic], *Freeing Energy from Carbon*, in «Daedalus», vol. 125, n. 3, estate 1996, pp. 98-99.

⁶ Jesse H. Ausubel, *Where Is the Energy Going?*, in «The Industrial Physicist», febbraio 2000.

⁷ Hydrogen Technical Advisory Panel (HTAP), US DOE, *Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles*, Washington, DC, maggio 1999.

Frank Ingriselli, *Powering Future Mobility with Electric Transportation Technologies*, discorso alio House Science Committee, US House of Representatives, 23 aprile 2001.

HTAP, *Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles*, cit.

Peter Hoffman, *Tomorrow's Energy. Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet*, Cambridge (MA), The MIT Press, 2001, pp. 22-23.

¹⁰ *Ivi*, p. 23.

¹¹ *Ivi*, pp. 23-24.

¹² *Ivi*, pp. 29-30.

¹³ J.B.S. Haldane, *Daedalus or Science and the Future*, Dutton, 1925.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 32.

¹⁸ Seth Dunn, *Hydrogen Futures. Toward a Sustainable Energy System*, in «Worldwatch Paper», 157, Washington, DC, WorldWatch Institute, agosto 2002, p. 28.

¹⁹ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., pp. 212-13.

²⁰ *Ivi*, p. 42.

²¹ *Ibid.*

²² *Ivi*, pp. 46-50.

Ivi, p. 247.

Fred Pearce, *Kicking the Habit*, in «New Scientist Magazine», vol. 163, n. 2266, 25 novembre 2000, p. 34.

²⁶ S. Dunn, *Hydrogen Futures...*, cit.; Tom Koppel, *Renewable Energy in the Island State*, in «Refocus», giugno 2001, pp. 1-5; Carl T. Hall, *Hydrogen Powers Energy Hopes. Experts Say It May Be the Fuel of the Future*, in «San Francisco Chronicle», 2 aprile 2001.

²⁹ Joan M. Ogden, *Prospects for Building a Hydrogen Energy Infrastructure*, in «Annual Review of Energy and Environment», vol. 24, 1999, pp. 227-79.

Ibid.

³¹ S. Dunn, *Hydrogen Futures...*, cit., p. 31.

³² Ann Chambers, *Distributed Generation. A Nontechnical Guide*, Tulsa (OK), PennWell, 2001, p. 150.

³⁰ *Ibid.*

³³ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., pp. 59-60.

C.E.G. Padro e V. Putsche, *Survey of the Economics of Hydrogen Technologies*, relazione tecnica, Golden (CO), National Renewable Energy Laboratory (NREL), settembre 1999.

³⁴ Institute of Gas Technology, *Survey of Hydrogen Production and Utilization Methods*, 1975.

S. Dunn, *Hydrogen Futures...*, cit., p. 32.

- J. Houghton, *Global Warming. The Complete Briefing*, cit., p. 203.
- ³⁷ Paul Hawken, Amory Lovins e Hunter L. Lovins, *Natural Capitalism. Creating the Next Industrial Revolution*, Boston, Little, Brown and Company, 1999, p. 248.
- ⁴⁰ J. Houghton, *Global Warming...*, cit., pp. 210-11.
- P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 90.
- Steve Silberman, *The Energy Web*, in «Wired», luglio 2001, p. 119.
- ⁴¹ Anne-Marie Borbely e Jan F. Kreider (a cura di), *Distributed Generation₂ The Power Paradigm for the New Millennium*, Washington, DC, CRC Press, 2001, p. 96.
- ⁴³ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., pp. 53-55.
- Joseph J. Romm e Charles B. Curtis, *Mideast Oil Forever?*, in «The Atlantic Online», aprile 1996.
- ⁴⁴ *Shell Oil Chairman and President Steve Miller Addresses the Congressional Black Caucus*, Shell Oil, 29 giugno 2001 (<http://www.countonshell.com/news/relation/speeches/speech15.html>).
- ⁴⁷ *When Green Begets Green*, in «Business Week», 10 novembre 1997, p. 98.
- ⁴⁸ J. Houghton, *Global Warming...*, cit., p. 203.
- ⁴⁹ *Ivi*, p. 208.
- ⁵⁰ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 90.
- ⁵¹ A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 124.
- ⁵² *Ibid.*
- Ivi*, p. 125.
- P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 89.
- Andreas Wagner (German Wind Energy Association), *The Growth of Wind Energy in Europe - An Example of Successful Regulatory and Financial Incentives*, discorso tenuto alia Windpower '99 Conference, Burlington (VT), American Wind Energy Association, 21 giugno 1999; S0ren Krohn *et al.* (a cura di), *Windpower*, in «DWIMA Annual Report», n. 25, marzo 2000, p. 3.
- ⁵⁴ A. Wagner, *The Growth of Wind Energy in Europe*, cit; Larry Goldstein, John Mortensen e David Trickett, *Grid-Connected Renewable-Electric Policies in the European Union*, Golden (CO), NREL, maggio 1999.
- Report of the Renewable Energy Advisory Group*, in «Energy Paper», n. 60, UK Department of Trade and Industry, novembre 1992.
- Jos Beursken, *Going to Sea. Wind Goes Offshore*, in «Renewable Energy World», gennaio-febbraio 2000.
- ⁵⁷ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 89; M. Lai, *Measures for Reducing Climate Relevant Gas Emissions in India*, saggio presentato all'Indo-German Seminar IIT, Delhi, 29-31 ottobre 1996.
- ⁶⁰ S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 118.
- ⁶¹ J. Houghton, *Global Warming...*, cit., p. 203.
- ⁶² P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 88.
- ⁶³ S. Dunn, *Hydrogen Futures...*, cit., p. 32.
- ⁶⁴ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 214.
- Ivi*, pp. 96-97.
- Ivi*, p. 97.
- J. Houghton, *Global Warming...*, cit., p. 205.
- ⁶⁵ J.J. Romm e C.B. Curtis, *Mideast Oil Forever*, cit.

- 66
- 67
- 68 *Ibid.*
- 69 P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 148.
- 70 A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 87; P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 155.
- P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 6.
- 72 S. Dunn, *Hydrogen Futures...*, cit., p. 32.
- 71 P. Fairly, *Power to the People*, in «Technology Review», MIT Enterprise, maggio 2001.
- 74 *Distributed Generation. Understanding the Economics*, An Arthur D. Little White Paper, 1999.
- 75 A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 18.
- Alan C. Lloyd, *The Power Plant in Your Basement*, in «Scientific American» luglio 1999, p. 80.
- Matthew L. Wald, *Energy to Count On*, in «The New York Times», 17 agosto 1999, p. C1; Joseph J. Romm, *Cool Companies. How the Best Businesses Boost Profits and Productivity by Cutting Greenhouse Gas Emissions*, Washington, DC, Island Press, 1999, p. 128.
- 79 S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 117.
- 80 A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 8.
- 81 A.C. Lloyd, *The Power Plant in Your Basement*, cit., p. 83.
- P. Fairly, *Power to the People*, cit., p. 74.
- 83 A.C. Lloyd, *The Power Plant in Your Basemen*, cit., p. 83.
- 84 *Ibid.*
- ~~85~~ *Ibid.*
- A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 13.
- 86 *Ivi*, pp. 5-6,10.
- 87 IPCC, *Climate Change 2001*, cit.; UNDP, UNDESA e WEC, *World Assessment Report*, cit., pp. 116, 74-77, 86-90.
- 88 P. Fairly, *Power to the People*, cit., p. 74.
- 89 A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 22.
- Corrispondenza dell'autore con Joel Smisher del Rocky Mountain Institute (4 marzo 2002).
- 92 A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 24.
- ~~93~~ *Ibid.*
- 94 *Distributed Generation. Understanding the Economics*, cit.
- A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 22.
- 95 S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 120.
- A.-M. Borbely e J.F. Kreider (a cura di), *Distributed Generation...*, cit., p. 47.
- 97 Steven E. Miller, *Civilizing Cyberspace. Policy, Power, and the Information Superhighway*, New York, Addison Wesley, 1996, pp. 44-45.
- 99 P. Fairly, *Power to the People*, cit., p. 77.
- 100 S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 120.
- 101 *Ibid.*
- A. Chambers, *Distributed Generation...*, cit., p. 25.
- S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 117.
- Ivi*, p.121.
- 102 *Ibid.*

Ivi, p. 124.

R. Brent Alderfer, M. Monika Eldridge e Thomas J. Starrs, *Making Connections. Case Studies of Interconnection Barriers and their Impact on Distributed Power Projects*, in «NREL/SR-200-28053», Golden (CO), NREL, maggio 2000, p. IV.

¹⁰⁷ P. Hawken, A. Lovins e H.L. Lovins, *Natural Capitalism*, cit., p. 26; S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 26.

S. Silberman, *The Energy Web*, cit., p. 120. Per ulteriori informazioni sullo sviluppo di auto all'idrogeno, cfr. Jim Motavalli, *Forward Drive. The Race to Build «Clean» Cars for the Future*, San Francisco, Sierra Club Books, 2000⁹.

Ibid.

¹¹⁰ ZEVCO Unveils Fuel Cell Taxi, Shell UK Chief Says Company is Into Hydrogen for Real, in «Hydrogen & Fuel Cell Letter», agosto 1998.

¹¹¹ Mamie Mitchell, *Balancing Movement with Management*, in «International Herald Tribune», 27 settembre 2001.

Ibid.

¹¹³ US Energy Information Administration, in «Annual Energy Review», 1997.

¹¹⁴ *Electricity Technology Roadmap. Powering Progress. 1999, Summary and Synthesis*, Palo Alto (CA), EPRI, luglio 1999.

M. Mitchell, *Balancing Movement with Management*, cit.

Amory B. Lovins e Brett D. Williams, *From Fuel Cells to a Hydrogen-based Economy*, in «Public Utilities Forrnightly», vol. 139, n. 4, 15 febbraio 2001¹⁷, p. 15.

¹¹⁸ *Ivi*, pp. 15-16.

¹¹⁹ *Ivi*, p. 16.

Ivi, p. 20.

C.E. Thomas et al., *Fuel Options for the Fuel Cell Vehicle. Hydrogen, Methanol or Gasoline?*, in «International Journal of Hydrogen Energy», vol. 25, 2000, p. 552.

¹²² *Ibid.*

¹²³ *Ivi*, p. 564.

P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 112.

Dave Nahmias, *Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles*, report dell'Hydrogen Technical Advisory Board al Department of Energy, National Hydrogen Association, 1999.

¹²⁶ *Ivi*.

¹²⁵ *Ibid.*

²⁸ *Ibid.*

¹²⁹ P. Hoffman, *Tomorrow's Energy...*, cit., p. 235.

¹³⁰ *Ibid.*

Ivi, p. 242.

A.B. Lovins e B.D. Williams, *From Fuel Cells to a Hydrogen-based Economy*, cit., p. 17.

¹³¹ Frank Swoboda, *Engines of Changes?*, in «The Washington Post», 8

gennaio 2002, p. El. Truett, Richard, *GM Sticks to 2010 target for Fuel Cell Vehicles*, in «Automotive News», 11 febbraio 2003.

¹³² N i Banerjee con Danny Hakim, *Administration Shifts Strategy On Auto Fuels*, in «The New York Times», 9 gennaio 2002, p. A1.

Nest Energy. Powering Michigan's Future, State of Michigan (<http://www.michigan.gov>).

Ibid.

¹³⁵ Meller, Paul, *Europe Pushes for Renewable Energy*, in «The New York Times», 16 ottobre 2002.

¹³⁶ £> Palacio, Loyola, *New and Original Ways for Hydrogen to Reach the Market*, discorso alio High Level Group for Hydrogen and Fuel Cell, Bruxelles, 10 ottobre 2002; «Commission Launches High Level Group on Hydrogen and Fuel Cell», Commissione Europea, Bruxelles, 10 ottobre 2002.

¹³⁷ Meller, cit.

¹⁴⁰ «Fuel Cells and Hydrogen: the Path Forward», *The Fuel Cell Coalition*, 5 settembre 2002.

Bush, George W., «State of the Union», 28 gennaio 2003.

Bush, «State of the Union», cit.; «Staff Draft Summary: Title VIII - Hydrogen», US Senate Committee on Energy and Natural Resources, 25 marzo 2003.

1

IX. Riglobalizzazione dal basso

2

³ John Perry Barlow, *The Economy of Ideas. Rethinking Patents and Copyrights in the Digital Age*, in «Wired», vol. 2, n. 3, 1994, p. 22.

⁴ Nicholas Thompson, *Reboot!*, in «Washington Monthly», marzo 2000.

Thomas Chobham, *Summa Confessorum*, a cura di F. Broomfield, Paris-Louvain, 1968, p. 505, quaestio XI, cap. I.

Sayre A. Swartrauber, *The Three-Mile Limit of Territorial Seas*, Annapolis (MD), Naval Institute Press, 1972, pp. 23-35.

Marvin S. Sorroos, *The International Commons. A Historical Perspective*, in «Environmental Review», 12, primavera 1988, p. 14.

⁸ R.R. Churchill e A.W. Lowe, *The Law of the Sea*, vol. 1, Oxford (UK), Oxford University Press, 1983, p. 126.

Ibid.

⁹ Andrew L. Shapiro, *The Control Revolution. How the Internet is Putting Individuals in Charge and Changing the World We Know*, New York, Public Affairs, 1999, p. 210.

David Rusk, *Inside Game, Outside Game*, Washington, DC, Brookings Institution, 1999, p. 25.

¹¹ *Coming of Age. Trends and Achievements of Community-based Development Organizations*, Washington, DC, National Congress for Community Economic Development, 1999.

Ibid.

¹² «1999 Annual Report», New Community Corporation (<http://www.newcommunity.org>).

- ¹⁴
¹⁵ *National Credit Union Association* (<http://www.ncua.gov/news/cdcu/cdcfact.html#cdcufact>).
- ¹⁷ *American Public Power Association* (<http://www.appanet.org>).
Ibid.
- ¹⁸ *American Public Power Association*, in «Fact Sheet», aprile 1996.
 Agis Salpukas, *The Rebellion in «Pole City»*, in «The New York Times», 10 ottobre 1995, p. D1.
- Evan McKenzie, *Privatopia. Homeowner Associations and the Rise of Residential Private Government*, New Haven (CT), Yale University Press, 1996, p. 12.
- James L. Winokur, *Choice, Consent, and Citizenship in Common Interest Communities*, in Stephen E. Barton e Carol Silverman (a cura di), *Common Interest Communities. Private Governments and the Public Interest*, Berkeley (CA), Institute of Governmental Studies, 1994, p. 88.
- ²² E. McKenzie, *Privatopia...*, cit., pp. 176-77.
 Bpzza del National Center for Economic and Security Alternatives, 2001 (<http://www.ncba.org>).
- ²⁴ *International Co-operative Alliance website, 2001* (<http://www.coop.org/ica/fica-intro.html>).
- National Cooperative Bank, *NCB Co-op 100, 2001* (<http://www.ncb.com>).
- ²⁵ Paul Hazen, *The Next Cooperative Wave*, in «Cooperative Business Journals, National Cooperative Business Association, 2001 (<http://www.cooperative.org/prescols.cfm?colid=15>).
- ²⁶ Thad Williamson, David Imbroscio e Gar Alperovitz, *Making a Place for Community. A Policy Primer for the New Century*, Routledge Press, in corso di stampa, p. 379.
- Ted Howard e Kristin Rusch, *Community Asset Building and Sustainable Resource Management. A Preliminary Survey*, College Park (MD), National Center for Economic and Security Alternatives, febbraio 2001, p. 6 (report non pubblicato). Per ulteriori informazioni sui modelli economici no-profit community-based, contattare The Democracy Collaborative presso l'Università di Maryland (info@DemocracyCollaborative.org).
- ³⁰ T. Howard e K. Rusch, *Community Asset Building...*, cit., p. 13.
- ³¹ *Ivi*, p. 21.
Ivi, p. 39.
Touchstone Energy Cooperative (<http://www.touchstoneenergy.com>).
Energy Cooperatives Network (<http://www.energy-co-op.net>).
- ³² *Ibid.*
³³ *Ibid.*
³⁴ *Ibid.*
- Chicago Area Homeowners to Test Residential Fuel Cells*, Electric Power Research Institute (EPRI), 10 maggio 2001.
- ³⁸ *It's Time to Get Smarter About Energy*, Community Energy Cooperative (<http://www.energycooperative.net>).
Energy Cooperatives Network (<http://www.energy-co-op.net>).
- Steven E. Miller, *Civilizing Cyberspace. Policy, Power, and the Information Superhighway*, New York, Addison-Wesley, 1996, p. 206.
- ³⁹ *Total Midyear Population for the World: 1950-2050*, International Data Base, US Bureau of Census, 10 maggio 2000.

Khozen Merchant, *World Heads for Grotesque Inequalities*, in «Financial Times», 16 luglio 1996, p. 4; United Nations Development Program (UNDP), *Human Development Report, 1998*, New York, Oxford University Press, 1998.

Robert Taylor, *Market Fallout Will Lift Jobless Total. World Unemployment - Third of All Workers Affected Says ILO Report*, in «Financial Times», 24 settembre 1998, p. 8.

⁴³ Barbara Crosette, *Hope and Pragmatism for UN Cities Conference*, in «The New York Times», 3 giugno 1996, p. A3.

UNDP, *Human Development Report, 1998*, cit.

⁴⁵ United Nations Development Program (UNDP), *Human Development Report, 1996*, New York, Oxford University Press, 1996.

⁴⁶ *Electricity Technology Roadmap. Powering Progress. 1999 Summary and Synthesis*, Palo Alto (CA), EPRI, luglio 1999, pp. 96-97.

Chauncey Starr, *Sustaining the Human Environment: The Next Two Hundred Years*, in Jesse H. Ausubel e H. Dalle Langford (a cura di), *Technological Trajectories and the Human Environment*, Washington, DC, National Academy Press, 1997, p. 192.

⁴⁹ *Electricity Technology Roadmap. Powering Progress*, cit., p. 98.

⁵⁰ *Ibid.*

Ivi, p. 68.

⁵² *Ibid.*

⁵³ *Ibid.*

⁵⁴ *Ibid.*

⁵⁵ *Ibid.*

⁵⁶ *Ivi*, p. 103.

⁵⁷ *Ivi*, p. 104.

Ivi, p. 103.

Voodoo Economics. A Thumbnail Sketch of the Global Finance System and Just Where the World Bank Fits in It, in «New Internationalist»), **Issue 10, n. 4**, dicembre 1990.

⁵⁸ *Ibid.*

⁶⁰ Dale H. Easley, *The OPEC Oil Embargo and Third-World Debt*, 17 luglio 2000 (<http://uno.edu/~gege/Easley/Essays>).

⁶¹ *High Prices Hurt Poor Countries More Than Rich*, Paris, 20 marzo 2000 (<http://www.iea.org/new/releases/2000/oilprice.htm>).

⁶³ *Ibid.*

Ibid.

⁶⁴ Kofi Annan, *Where the High Oil Price Really Hurts*, in *international Herald Tribune*», 3 ottobre 2000.

David Malin Roodman, *The Third World Debt Crisis: Facts and Myths*, in «Worldwatch Paper», 155 (*Still Waiting for the Jubilee. Pragmatic Solutions for the Debt Crisis*), 26 aprile 2001.

⁶⁷ *Ibid.*

Ibid.

⁶⁸ «*Forgive and Forget*». *Won't Fix Third World Debt*, 26 aprile 2001 (<http://www.worldwatch.org/alerts/010426.html>).

Stephen Kern, // *tempo e lo spazio. La percezione del mondo tra Otto e Novecento*, trad. it. Bologna, Il Mulino, 1995, p. 282.

Friedrich Ratzel, *Das Meer als Quelle der Völgrosse*, **Munchen**, 1900, pp. 71, 5; S. Kern, *Il tempo e lo spazio*, tit., p. 284.

Sir Halford Mackinder, *Democratic Ideas and Reality*, New York, W.W. Norton, 1962.

Nicholas J. Spykman, *The Geography of Peace*, New York, Harcourt, Brace, 1944, p. 5.

Rafal Serafin, *Noosphere, Gaia, and the Science of the Biosphere*, in «Environmental Ethics», 10, estate 1988, p. 124.

James Lovelock, in William Irvin Thompson (a cura di), *Gaia. A New Way of Knowing*, New York, Lindisfame Press, 1988, pp. 87-88.

⁷⁶ Jim E. [James] Lovelock, *Gaia. Nuove idee sull'ecologia*, trad. it. Torino, Boringhieri, 1981, pp. 92-93.

⁷⁷ *Ivi*, p. 92.

⁷⁸ *Ivi*, pp. 93-94.

Ivi, p. 95.

James Lovelock, *he nuove eta di Gaia. Una biografia del nostro mondo vivente*, trad. it. Torino, Bollati Boringhieri, 1991, p. 48.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare Loring Katawala - che si è occupata del materiale preparatorio di *Economia aU'idrogeno* - per lo straordinario lavoro di supervisione del progetto. Le sue eccezionali doti di ricercatrice mi hanno spesso consentito di scovare informazioni altrimenti difficili da reperire, soprattutto nel settore petrolifero. La sua attenzione ai particolari è stata determinante per gestire l'enorme massa di dati, fatti e statistiche che costituiscono l'ossatura del libro. Il suo entusiasmo e la sua dedizione hanno contribuito a rendere la stesura di queste pagine un'esperienza gioiosa.

Sono debitore, poi, nei confronti di C.J. Campbell, Jean Laherrere, L.F. (Buz) Ivanhoe, Jim MacKenzie, John Edwards, Richard Duncan, Joel Swisher, Seth Dunn e Brett Williams per i rilievi tecnici e scientifici sulle prime bozze, oltre che per i preziosi suggerimenti, molti dei quali sono stati integrati nelle pagine finali del volume.

Un ringraziamento particolare va anche a Ted Howard e David Helvarg, che hanno letto le prime stesure e fornito utili indicazioni.

Devo poi rendere merito a mia moglie, Carol, e ai miei suoceri, Ted e Dorothy Grunewald, per le lunghe e fruttuose conversazioni che hanno contribuito a dare forma al mio pensiero durante la realizzazione del progetto.

Un riconoscimento a Stephanie Woodhouse, per l'accurato lavoro di revisione e editing delle numerose versioni del manoscritto, nonché per la supervisione del progetto per le edizioni internazionali.

Un ringraziamento ad Alexia Robinson per l'editing finale, a Clara Mack per il contributo alla compilazione e all'assemblaggio del materiale di ricerca, e a Shreya Lamba, Kear Leng Chhour, Dara Sandandaji, Brett Wilson, Pat Gorton, Nicole Rousseau e Jarret Cassanti per il loro aiuto.

Joel Fotinos, Cathy Fox e Ken Siman della casa editrice Tarcher/Putnam hanno reso possibile la realizzazione di questo progetto. Un ringraziamento particolare al mio vecchio amico Jeremy Tarcher, che mi ha offerto una tribuna unica per la diffusione delle

mie idee: la sua dedizione alle mie opere mi ha reso possibile raggiungere, negli anni, un vastissimo pubblico.

Il ringraziamento finale va comunque a Mitch Horowitz, mio editore alla Tarcher/Putnam, che ha seguito il progetto fin dall'inizio. Non solo Mitch e io abbiamo passato mesi a verificare ogni minimo dettaglio, ma i suoi suggerimenti hanno contribuito a dare al libro la forma attuale, tanto che ogni pagina del volume porta traccia della sua presenza.