ALADINO

TRECCANI
LA CULTURA ITALIANA

Italia Nostra

COLLANA DI STRUMENTI EDUCATIVI PER SAPER VEDERE IL PATRIMONIO CULTURALE

ENERGIA | AMBIENTE | SOCIETÀ

RISORSE ENERGETICHE E COMUNITÀ UMANE

AGNESE VISCONTI

AGNESE VISCONTI

RISORSE ENERGETICHE E COMUNITÀ UMANE

ENERGIA | AMBIENTE | SOCIETÀ

Italia Nostra
TRECCANI
LA CULTURA ITALIANA

Premessa

Alessandra Mottola Molfino

Nell'art. 3 dello Statuto di Italia Nostra, che ne definisce gli scopi, è scritto che una delle attività istituzionali è:

> "..... h) promuovere la conoscenza e la valorizzazione del patrimonio storico, artistico e naturale del Paese mediante opportune iniziative di educazione ambientale nelle scuole, formazione ed aggiornamento professionale dei docenti nonché mediante attività di formazione ed educazione permanente nella società."

Il lavoro del Settore Educazione, costituito dal 1971 nella sede nazionale di Roma, serve da coordinamento e indirizzo unitario alle circa 200 sezioni e ai 16 Consigli Regionali sparsi su tutto il territorio nazionale.

Il **progetto educativo** che proponiamo a livello nazionale vuole suscitare nei cittadini del nostro Paese la conoscenza delle potenzialità formative del Patrimonio Culturale, in grado di incidere su competenze e comportamenti relativi alla persona nel suo complesso, riferibili alla cittadinanza attiva e democratica e non legate esclusivamente all'ambito disciplinare istituzionale o a parziali aperture interdisciplinari.

Noi crediamo nell'importanza dell'educazione permanente e ricorrente, dell'educazione per l'inclusione sociale e l'integrazione culturale. Per Italia Nostra l'educazione permanente non è soltanto un campo specifico del settore Educazione, ma è trasversale a tutta l'associazione.

I destinatari dell'azione educativa sono in primo luogo i soci (referenti di sezione e regionali) e gli insegnanti della Scuola di ogni ordine e grado, gli "insegnanti di Italia Nostra"; poi tutte le persone che sarà possibile coinvolgere (il pubblico adulto: i nonni, le famiglie, i politici, gli amministratori/funzionari locali; i professionisti: architetti, geometri, ingegneri, geologi, avvocati, ecc.); in quanto le finalità riguardano lo sviluppo e la promozione di conoscenze, abilità e comportamenti che si manifestano

lungo tutta la vita di ogni individuo; il processo educativo non può concludersi al termine del ciclo d'istruzione, ma deve proseguire in contesti diversi – professionali, turistici, associativi... – al fine di favorire e sostenere l'assunzione di una sempre maggiore consapevolezza del rapporto cittadino-patrimonio.

La nostra **offerta educativa** si compone di tre elementi:
– i **corsi di formazione** (ogni anno scolastico organizziamo circa 11-12 corsi decentrati nelle sezioni di tutto il territorio nazionale e un corso iniziale centrale a Roma);
– i **concorsi** per le scuole di ogni ordine e grado (ogni classe partecipante propone la propria ricerca-azione sugli stessi temi dei corsi di formazione) con una premiazione nazionale alla fine di maggio di ogni anno a Roma;
– e gli "**strumenti per saper vedere**", scaricabili gratuitamente dal sito www.italianostraedu.org

Sono ormai migliaia sul Web i gruppi di discussione sulla scuola, la didattica e le nuove metodologie di apprendimento, ai quali partecipano a decine di migliaia insegnanti, studenti, dirigenti; che usano i social network (blog, twitter, facebook), gli hashtag, i siti web. Tutti questi costituiscono ormai una nuova comunità che suggerisce di usare il Web come canale privilegiato per la costruzione di ricerche-azioni che sviluppino la "cittadinanza attiva" nei docenti e nei discenti; che creino Unità-Didattiche multidisciplinari.

Italia Nostra per l'Educazione al Patrimonio Culturale vuole entrare come interlocutore culturale speciale in questa comunità proponendo di pubblicare sul Web alcuni strumenti di lavoro per una didattica multidisciplinare.

Nel 2015 nasce, dunque, in Italia Nostra **Aladino** una "collana" di STRUMENTI/SCHEDE/ATTREZZI DIDATTICI, ideata e progettata da Italia Nostra con l'Istituto della Enciclopedia Italiana. Destinati alle scuole primarie e secondarie (ma utili anche per un pubblico interessato), che si propongono di offrire a insegnanti e gruppi scolastici **griglie di metodo e di lavoro** esemplari per attuare ricerche-azione sul Patrimonio Culturale in sintonia con **i principi di tutela ed educazione propri di Italia Nostra**; anche partendo da casi specifici (Liguria, Veneto, pianura padana, ecc.) serviranno da guida per ricerche applicate a ogni realtà monumentale e paesaggistica italiana.

Prevediamo la pubblicazione elettronica (ePub) di materiali illustrati e ricchi di richiami (link e hotword) a possibili estensioni su siti internet; consultabili e scaricabili gratuitamente dai siti

www.italianostraedu.org

www.treccani.it

Estensioni possibili di ogni strumento potrebbero cercare corrispondenze nella letteratura, nel cinema, nella musica, creando anche nuovi e personalizzati ipertesti – proponendo agli utenti anche una specie di "gioco" finale (ovvero "concorso") di arricchimento delle tematiche proposte.

Ciò senza che, nel frequente navigare tra i link, si perda di vista la realtà vera; dalla quale comunque gli utenti saranno obbligati a partire (... l'esplorazione di un paesaggio o di un monumento, la conoscenza delle opere conservate nei musei vicini, la fisicità delle conoscenze proposte ...). L'ingresso nell'economia della conoscenza impone un complessivo ripensamento del paradigma educativo: mettere ancora di più l'accento su quella scintilla che deve scattare nella mente di ciascuno. Non soltanto legata alla semplice conoscenza, ma sempre più alla necessità di saper gestire e interpretare in maniera creativa l'enorme massa di sapere oggi disponibile in un cellulare. L'istruzione deve ripartire dalle competenze individuali.

Non serve più trasmettere un accumulo di nozioni e conoscenze: come dice Ian Goldin:

> "Abbiamo bisogno
> che il sistema educativo
> insegni a gestire un mondo
> molto più complesso"

Crediti

Settore Educazione al Patrimonio Culturale di Italia Nostra:

Maria Rosaria Iacono, *consigliera nazionale delegata*

Patrizia Di Mambro, *coordinatrice*

Comitato nazionale per l'Educazione al Patrimonio Culturale:

Alessandra Mottola Molfino, Antonella Nuzzaci, Paolo Sciascia, Marina Di Berardo, Lida Branchesi, Renzo Carlucci, Dino Angelaccio, Adriana Avenanti, Adriana Chirco, Agnese Visconti, Angela Martino, Anna Finocchi, Gabriele Cragnolini, Giovanna Fazio, Marica Mercalli, Alessandra Broccolini, Donatella Murtas, Sonia Barison Nadalini, Stefania Sebastiani, Werther Bertoloni, Maria Letizia Panajotti, Aldo Riggio.

Redazione: Dafne Cola

Direttore della collana: Alessandra Mottola Molfino

L'uso e la riproduzione di queste pubblicazioni a fini educativi e non commerciali è gratuito. Italia Nostra richiede però di essere sempre citata quale fonte e parimenti che sia citato l'autore dei testi. La riproduzione di queste pubblicazioni a scopo di vendita o altri fini commerciali è vietata.

Per le immagini riprodotte gli Editori restano a disposizione degli eventuali detentori di diritti che non sia stato possibile rintracciare.

Siti internet:

www.italianostraedu.org
www.treccani.it

© Italia Nostra e Istituto della Enciclopedia Italiana

L'autrice ringrazia Anna Finocchi, Antonella Testa, Fabrizio Trisoglio, Alessandra Mottola Molfino, Dafne Cola e Luca Carra per l'aiuto nella ricerca delle immagini, l'attenta lettura e i preziosi consigli

Indice dei temi

INTRODUZIONE 9
- L'energia 10
- Le forme dell'energia 11

LE RISORSE ENERGETICHE 18

LE RISORSE ENERGETICHE TRADIZIONALI 21
- Il cibo 21
- Il legno 28
- L'acqua e il vento 29
- La scarsità di suolo 33

LE RISORSE ENERGETICHE MODERNE 35
- Il carbone 35
- La produzione di energia elettrica 43
- Il petrolio 53
- Il gas 57
- L'uranio e le centrali elettro nucleari 58
- Le prime avvisaglie di crisi 60
- Il mondo di fronte agli shock petroliferi 62

LA CRISI 69
- Il problema del clima e delle sue alterazioni 69
- Le istituzioni internazionali 70

INCIDENTI E DISASTRI AMBIENTALI 75
- Petroliere, gasdotti, oleodotti, guerre 75
- Le centrali nucleari 76
- Il caso italiano 79

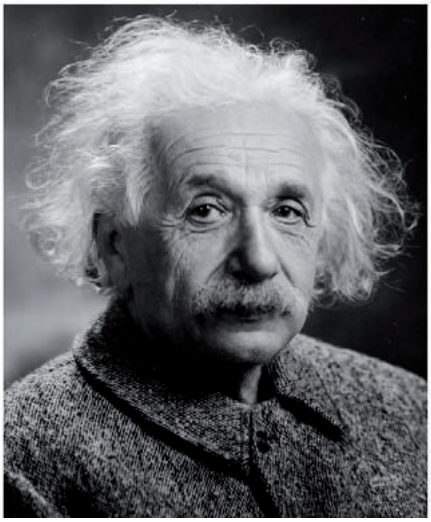
NUOVE PROSPETTIVE 82
- Lo sviluppo sostenibile e le fonti energetiche rinnovabili 84
- Il caso italiano 92

BIBLIOGRAFIA 104

AUTRICE 107

Introduzione

Le pagine che seguono costituiscono per il lettore un invito a compiere un lungo viaggio esplorativo con destinazioni diverse, nel tempo e nello spazio, allo scopo di provare a considerare e osservare i differenti fili che, in maniera più o meno tenace, hanno formato in passato e formano tuttora l'intessitura, non sempre omogenea, anzi perlopiù variegata – rada, folta e compatta, o finanche lacerata, sfilacciata e non sempre ricucita – formata dall'intreccio degli uomini con gli ambienti. Occhi e mente saranno tesi dunque a ricercare i molteplici legami che hanno congiunto/disgiunto e tuttora congiungono/disgiungono, in diverse misure, le società – differenti le une dalle altre, ieri come oggi, per obiettivi, tecniche, credenze religiose, espressioni artistiche, scelte politiche ed economiche – con i vari prodotti del suolo e del sottosuolo, così come con l'aria, l'acqua e il sole. Un filo tuttavia, tra i molti che gli uomini hanno allacciato in passato e che continuano ad allacciare tuttora, verrà indagato con particolare attenzione: quello che, con il nome di risorsa energetica, li ha accompagnati nel corso della storia, concorrendo, ancorché irregolarmente, alla loro crescita e al loro benessere economico, e che oggi tuttavia, con il mutato appellativo di crisi energetica, sembra essere stato brutalmente tagliato, al punto da assumere la forma di una ferita profonda che, come vedremo, non si è per ora rimarginata.



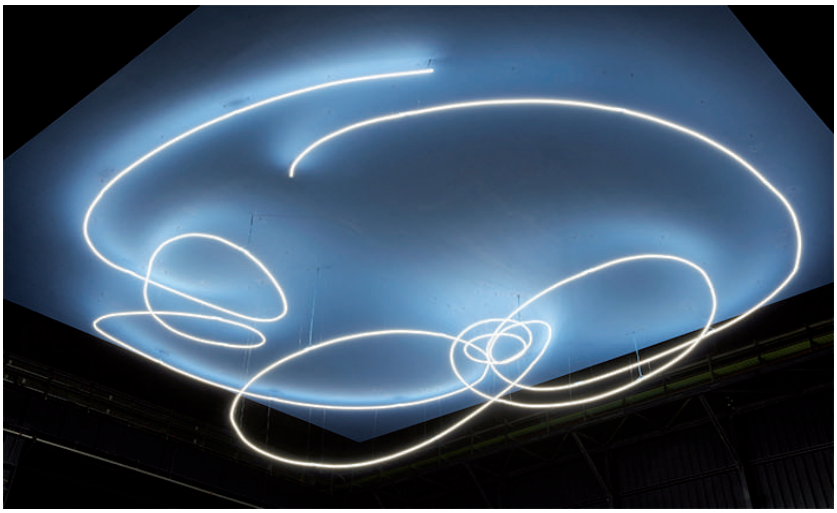
Tutto è energia
e questo è tutto ciò
che esiste.
Sintonizzati sulla frequenza
della realtà che desideri
e non potrai fare a meno
di ottenere quella realtà.
Non c'è altra via.
Questa non è filosofia.
Questa è fisica.

(Albert Einstein)

Albert Einstein e l'energia

L'energia

Per comprendere lo svolgersi, irregolare e tortuoso, del rapporto che gli uomini hanno instaurato e instaurano con i prodotti della natura al fine di procurarsi anzitutto la sussistenza e in secondo luogo/tempo un maggior benessere, è opportuno prendere le mosse dalla definizione del termine energia (dal greco έργον, lavoro): questione non facile che gli scienziati hanno tentato di risolvere partendo dagli effetti visibili dell'energia, o meglio dalle sue conseguenze. L'energia può dunque essere espressa in tanti modi. Tuttavia la definizione più comunemente impiegata è quella che indica la capacità di compiere un lavoro che un corpo o un sistema possiede in relazione a determinate caratteristiche. Ne consegue che l'unità di misura dell'energia è la stessa di quella del lavoro, il "joule" (unità di misura internazionale dell'energia, del lavoro e del calore, dimensionalmente è kg·m2/s2 = 1 N·m = 1 W·s., che prende il nome da James Prescott Joule). Ai fini pratici tuttavia la più nota è la chilocaloria (meglio nota come Caloria) con i suoi multipli e sotto multipli.



La luce
Lucio Fontana, *Ambiente spaziale nero*
Ambiente realizzato per il Padiglione *Fonti di energia per Italia 61* a Torino. Distrutto, ricostruito ed esposto alla Mostra *Lucio Fontana Ambienti/Environments*, Milano, Hangar Bicocca (21 settembre 2017-25 febbraio 2018)

L'energia che si trova all'interno del sistema Terra deriva per la massima parte (più del 99%) dal sole, una potentissima fonte energetica che fluisce in continuazione, originando la luce, il calore e i venti, causati dal difforme riscaldamento delle masse d'aria, mentre solo una piccolissima quota – attraverso la fotosintesi clorofilliana effettuata dai vegetali, gli unici convertitori in grado di trasformare l'energia solare (materia inorganica) in energia chimica – diventa cibo (materia organica). Gli ani-

mali e gli uomini assumono energia solare sotto forma di cibo quando si nutrono di vegetali o di animali che a loro volta si sono nutriti di vegetali. All'energia solare si aggiunge un'esigua percentuale derivante dalle maree, dovute prevalentemente all'attrazione gravitazionale esercitata dalla luna, e dal calore interno della terra.

PER SAPERNE DI PIÙ

Le unità di misura dell'energia e del lavoro

- *1 chilocaloria (Caloria)* = 4.180 joule = quantità di lavoro necessaria per innalzare di 1°C la temperatura di 1 litro d'acqua
- *1 caloria (piccola caloria)* = 1:1.000 Calorie = 4,18 joule
- *1 chilowattora* = 3.600.000 joule = 2.700 Calorie
- *1 tec (tonnellata equivalente di carbone)* = energia fornita dalla combustione di una tonnellata di carbone
- *1 tep* (tonnellata equivalente di petrolio) = energia fornita dalla combustione di una tonnellata di petrolio

La fotosintesi clorofilliana

La fotosintesi clorofilliana (dal greco φώτο, luce, e σύνθεσις, unione) è il più importante processo di produzione di sostanze organiche a partire da sostanze inorganiche, che ha luogo nel sistema Terra. Grazie ad esso le piante verdi assorbono energia luminosa che usano come energia chimica e, partendo da acqua e anidride carbonica (composti inorganici) formano principalmente carboidrati (sostanze organiche).

Le forme dell'energia

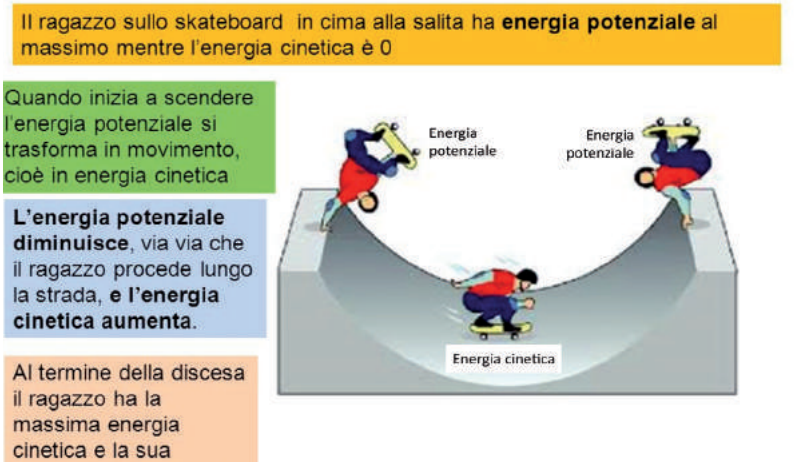
L'avvio per la comprensione scientifica del concetto di energia venne dato dai fisici del XVII secolo, in particolare l'italiano Evangelista Torricelli, con la definizione di energia meccanica, ossia l'energia posseduta da un corpo o da un sistema in virtù del suo stato di moto. Tale energia si distingue in cinetica, quando il movimento è in atto (acqua che scorre, vento, un corpo in caduta) e potenziale, quando il movimento può essere messo in atto (un oggetto o una massa posti in alto). L'energia potenziale può essere trasformata in energia cinetica quando l'oggetto o la massa si muove dall'alto verso il basso.

L'energia cinetica del vento
Giovanni Fattori, *La libecciata*, 1880-1885 (Firenze, Palazzo Pitti Galleria d'Arte moderna)

A partire dal secolo successivo gli scienziati, in particolare i francesi Nicolas-Léonard-Sadi Carnot e Jean-Baptiste-Joseph Fourier riuscirono a definire un'altra forma di energia: quella chimica che consiste nell'energia associata ai legami fisici, ossia l'energia che tiene insieme gli atomi e le molecole di una sostanza. Tale energia può convertirsi, ad esempio, in energia termica a seguito delle trasformazioni chimiche che intervengono, nella sostanza stessa. È il caso del legno e dei combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) che, quando bruciano, subiscono una reazione che trasforma l'energia chimica in energia termica.

L'energia termica del fuoco
Piero di Cosimo, *Incendio nella foresta,* 1500-1505 (Oxford, Ashmolean Museum)

Ed è il caso anche del cibo: quando bruciamo all'interno del nostro corpo un alimento, poniamo in atto una modificazione della struttura molecolare a seguito della quale il nostro corpo si scalda. Una parte dell'energia termica può essere trasformata in energia cinetica.



Energia cinetica ed energia potenziale

Un'altra forma di energia è quella elettrica (dal nome greco dell'ambra ἤλεκτρον) che consiste nell'energia associata al moto di particelle cariche, siano ad esempio cariche negative (elettroni) oppure positive (ioni). In una pila il polo negativo possiede un eccesso di cariche negative, mentre il polo positivo possiede un eccesso di cariche positive. Se con un conduttore i due poli della pila vengono collegati, si produce una corrente tesa a stabilire l'equilibrio elettrico tra i due poli: è la corrente elettrica, in grado di compiere lavoro o di creare calore.

Possiamo dire che il primo scienziato che comprese a fondo che cosa fosse l'elettricità (siamo nel 1800) fu l'italiano Alessandro Volta il quale tuttavia non rese utilizzabile la sua scoperta. Fu necessario attendere, come si vedrà più avanti, la fine del XIX secolo perché l'elettricità potesse venir utilizzata.

L'energia elettrica è un'energia secondaria, in quanto viene prodotta dall'energia meccanica di una caduta d'acqua (energia idroelettrica), oppure dall'energia termica ottenuta dalla combustione del carbone, del petrolio e del gas o dalla fissione nucleare dell'uranio o, in misura minore, del torio (energia termoelettrica).

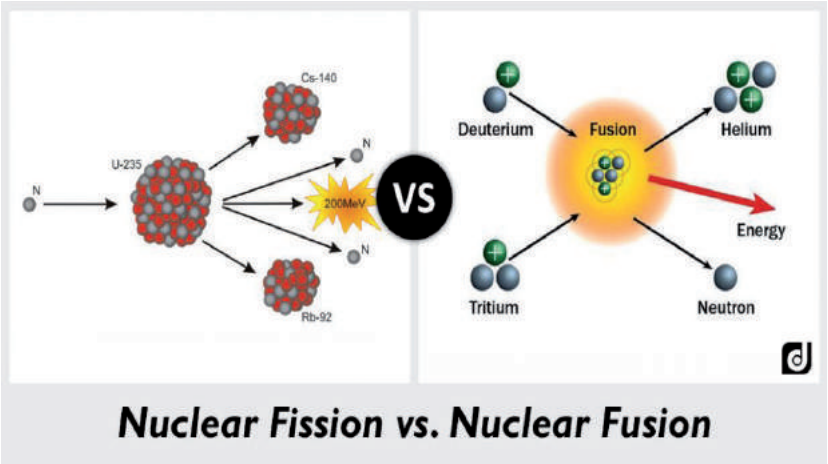
L'energia cinetica dell'acqua
Abraham-Louis-Rodolphe Ducros, *Cascata delle Marmore a Terni*, 1785 circa (Losanna, Musée Cantonal des Beaux-Arts)

È dalla fine del XIX secolo che l'economia occidentale ha iniziato a elettrificare il proprio sistema energetico e ha poi proseguito trasformando in energia elettrica una frazione sempre maggiore dell'energia meccanica ottenuta dall'acqua e di quella termica ottenuta dai combustibili o dalla fissione di nuclei atomici.

Infine, agli anni Quaranta del XX secolo appartiene la scoperta dell'opportunità di sfruttamento dell'energia nucleare. Essa deriva dai mutamenti all'interno della struttura dei nuclei atomici (aggregati di protoni e neutroni).

L'energia nucleare è di due tipi: di fissione, ottenuta in una reazione nella quale un nucleo pesante (uranio di regola, o in misura minore torio), bombardato da un neutrone, si divide in due nuclei che successivamente emettono due o tre neutroni con perdita di massa ed emissione di enormi quantità di energia; di fusione, ottenuta in una reazione nucleare nella quale due nuclei di atomi leggeri (deuterio e trizio) si fondono per formare nuclei più pesanti con contemporanea perdita di massa ed emissione di elevata energia. Si tratta di processi in cui piccole variazioni di massa sono in grado di tradursi in enormi quantitativi di energia, in base all'equivalenza

tra massa ed energia che Albert Einstein aveva postulato all'inizio del XX secolo ($E=mc^2$). La storia della produzione di energia elettrica iniziò nel 1942 all'Università di Chicago con la messa a punto da parte del fisico italiano Enrico Fermi del primo reattore nucleare per la fabbricazione della bomba atomica.



Schema del processo di fissione nucleare e di quello di fusione
Il secondo, ancora allo studio degli scienziati, non produce scorie

PER SAPERNE DI PIÙ

Termodinamica

È quella parte della Fisica che riguarda la trattazione matematica del rapporto tra energia termica ed energia meccanica. Il primo principio della termodinamica postula la conservazione dell'energia totale in un sistema chiuso e sancisce la possibilità di passaggio da una forma di energia a un'altra. Il primo principio non garantisce però la totale convertibilità dell'energia da una forma all'altra. E questo perché l'energia termica si trova in una situazione particolare: mentre infatti tutte le altre forme di energia possono venir trasformate completamente in energia termica, non è possibile convertire tutta l'energia termica in altre forme di energia. Il secondo principio della termodinamica impone un limite oltre il quale il calore non può trasformarsi in lavoro. La percentuale dell'energia termica non convertibile in lavoro meccanico si trova sotto forma di calore degradato, non più utilizzabile per ottenere lavoro. Il terzo principio consente di determinare i valori dell'entropia, ossia una misura del grado di disordine di un sistema.

Combustibili fossili

Hanno origine biologica. Si sono infatti formati nel corso di centinaia di milioni o anche di miliardi di anni da materiale biologico di natura prevalentemente vegetale, attraverso un processo che comporta la perdita di ossigeno.

Il carbone è derivato dalla conversione avvenuta all'incirca 300 milioni di anni fa, per lo più in ambiente lacustre, di piante in decomposizione. Esso viene estratto da giacimenti dove si è formato. La profondità massima, oltre la quale l'estrazione con le attuali tecnologie non è conveniente, si aggira intorno ai 1500-2000 m sotto il livello del mare. I principali caratteri economici dell'industria del carbon fossile sono: ampiezza degli investimenti a causa dell'importanza dei lavori preparatori; necessità di un certo controllo da parte dello Stato soprattutto per via delle misure di sicurezza; alta intensità di lavoro (il costo del lavoro equivale al 60%); rigidità della produzione (occorrono anni per compiere i lavori necessari in caso di maggior domanda, mentre in caso di riduzione della domanda si verifica un importante aumento dei costi).

La gigantesca miniera di lignite (carbone fossile contenente dal 55 al 75% di carbonio) a Jaenschwalde, nella Germania orientale - © ANSA/AP, Michael Sohn (da https://altreconomia.it/100-inquinatori/)

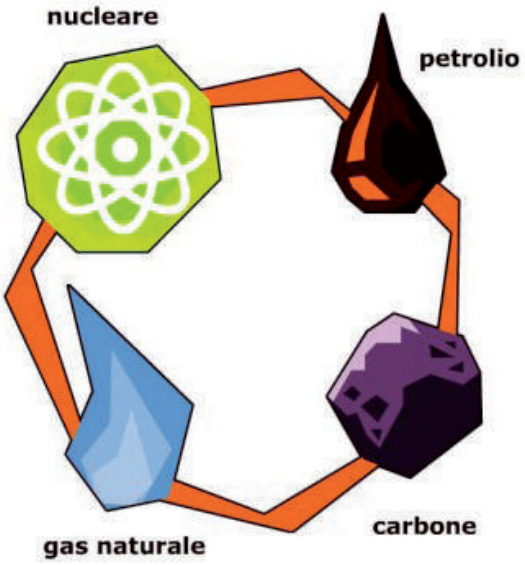
Petrolio e gas non vengono estratti. Essi fluiscono spontaneamente alla superficie, una volta perforati i pozzi che raggiungono nel suolo la roccia-serbatoio. Quando manca la pressione il petrolio viene portato in

superficie mediante pompaggio. L'esplorazione raggiunge generalmente i 6000-6500 m di profondità, ma la tecnologia ha ormai aperto la possibilità a esplorazioni più profonde, soprattutto marine. L'origine del petrolio e del gas è più complessa da stabilire rispetto a quella del carbone perché la loro mobilità non consente di identificare i loro giacimenti dal momento che questi non sempre corrispondono agli ambienti geologici nei quali la genesi del petrolio e del gas ha avuto luogo. In altre parole, a differenza del carbone che si trova là dove si è formato, per il petrolio e per il gas si deve distinguere tra origine, migrazione e successivo accumulo in rocce serbatoio. Circa l'età dei sedimenti, si suppone che condizioni favorevoli abbiano cominciato a verificarsi circa 3 miliardi di anni fa (non prima, perché nei primi 2 miliardi di anni non esistevano sul pianeta tracce di vita biologica): il petrolio e il gas sono originati da batteri di materie organiche viventi in zone marine.

Ricerca di petrolio nell'Oceano artico: un ambiente fragile

Le risorse energetiche

Possiamo prendere le mosse per la comprensione del significato del concetto di risorsa energetica da una considerazione del geografo italiano Lucio Gambi, che così recita: "Qualunque cosa di questo mondo non ha continuativamente un medesimo valore, ma lo muta secondo gli uomini". Tale considerazione ci aiuta a comprendere come le risorse non siano i prodotti dell'ambiente *tout court*, ma i prodotti dell'ambiente resi utilizzabili dalla tecnica per la messa in atto dei processi di trasformazione del prodotto naturale in lavoro utile. I prodotti dell'ambiente, in altri termini, non hanno significato economico fino a quando non viene inventata una tecnologia che ne faccia uso. Essi assumono dunque valore di risorsa grazie all'innovazione tecnologica e allo sviluppo scientifico che creano le possibilità e le opportunità del loro utilizzo.

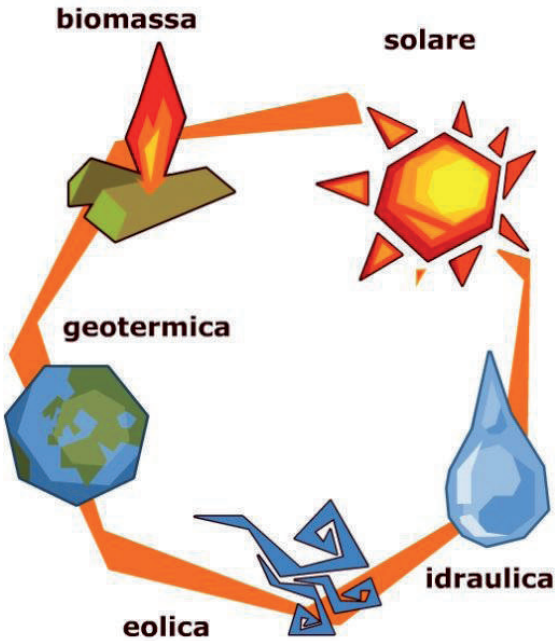


Le fonti energetiche non rinnovabili

Le risorse energetiche possono pertanto venir definite anche come fenomeni che dipendono in larga misura dalle situazioni economiche, politiche e culturali di un

determinato tipo di società. Ne consegue che il valore di ogni risorsa varia sia nel tempo sia nello spazio. Prendiamo un esempio nel tempo: fino alla metà del XIX secolo il petrolio era utilizzato come materia cementante nella costruzione degli edifici e delle navi o come materiale sacro per l'imbalsamazione delle mummie o ancora come medicamento o per illuminare le feste religiose in Mesopotamia e Persia.

Vediamo ora un esempio nello spazio: le foreste pluviali, ricchissime di specie diverse di fauna e flora, sono considerate dagli scienziati e dagli ambientalisti un valore biologico inestimabile da mantenere, oltre che un ecosistema che permette un grande irraggiamento del sole e consuma elevate quantità di anidride carbonica, generando ossigeno. Tuttavia nello stesso tempo esse vengono riguardate dagli Stati in cui esse si trovano come sistemi da sfruttare attraverso la deforestazione per l'estrazione di minerali e idrocarburi, per la produzione agricola e per l'allevamento.



Le fonti energetiche rinnovabili

Le risorse energetiche vengono convenzionalmente suddivise in due grandi categorie: quelle **rinnovabili (flussi)** e quelle **non rinnovabili (scorte)**. Le prime derivano direttamente dall'energia solare e sono l'energia idrica, quella eolica e quella delle biomasse (per lo più legna e in misura minima altri vegetali, e rifiuti animali).

Esse possono anche definirsi tradizionali, ossia precedenti la rivoluzione industriale. Le fonti non rinnovabili (carbone, petrolio, gas naturale e uranio), così dette perché la velocità con la quale i processi geologici le producono è infinitamente minore di quella con cui le società le utilizzano, hanno accompagnato la storia delle società umane dalla rivoluzione industriale ad oggi. Sono destinate prima o poi a esaurirsi, in quanto si consumano con l'uso. In altri termini, il loro impiego non può continuare per sempre e a un certo momento interverrà la scarsità. Questo spiega il motivo, che tuttavia come vedremo non è l'unico, per cui dagli ultimi decenni del XX secolo le società umane sono tornate a rivolgersi, con nuove tecnologie, alle fonti rinnovabili.

Le risorse energetiche tradizionali

Il cibo

Il cibo è la prima fonte energetica per gli animali e per gli uomini che lo utilizzano sotto forma di energia termica e meccanica. Gli uomini hanno bisogno di circa 2.500 Calorie al giorno provenienti dal cibo, delle quali circa l'80% viene utilizzato per la sopravvivenza, mentre il restante 20% può essere convertito in movimento e lavoro utile. Si dirà allora che l'uomo ha una resa energetica del 20%.

Gli uomini, fin dalla loro comparsa sulla terra, utilizzano per nutrirsi l'energia solare trasformata dai vegetali in energia chimica organica (alimenti) e la modificano a loro volta in energia termica (calore del corpo) e meccanica (movimento del corpo). Per un primo, lungo periodo gli uomini si guadagnarono da vivere praticando la caccia (alci, bisonti, renne), la pesca e la raccolta (erbe, radici, frutta).

Scena di caccia
II-I millennio a.C. circa (Valcamonica, Arte rupestre)

La pesca
II-III secolo d. C. (Tunisi, Museo del Bardo, Sala con mosaici a soggetto marinaro)

Con l'aumento della popolazione, che passò da circa 1 a circa 5 milioni di individui tra il 500.000 e il 10.000 a.C., e la conseguente diminuzione del territorio disponibile sia per la raccolta sia per la caccia, gli uomini si trovarono di fronte ai primi problemi energetici e furono di conseguenza costretti a ricercare pratiche più vantaggiose per soddisfare le loro esigenze alimentari. A partire dal 9.000 a.C. circa la questione fu risolta: essi iniziarono difatti ad affiancare alla raccolta e alla caccia l'agricoltura (prima rivoluzione agricola) e, insieme con essa, la domesticazione degli animali, allevati con lo scopo di fornire energia sotto forma di cibo (polli, suini e ovini) e di lavoro (bovini e in seguito cavalli).

Il lavoro nei campi in Europa
Diderot e d'Alembert (par), *Encyclopedie,* s.v. Agriculture, Paris, 1751-1772

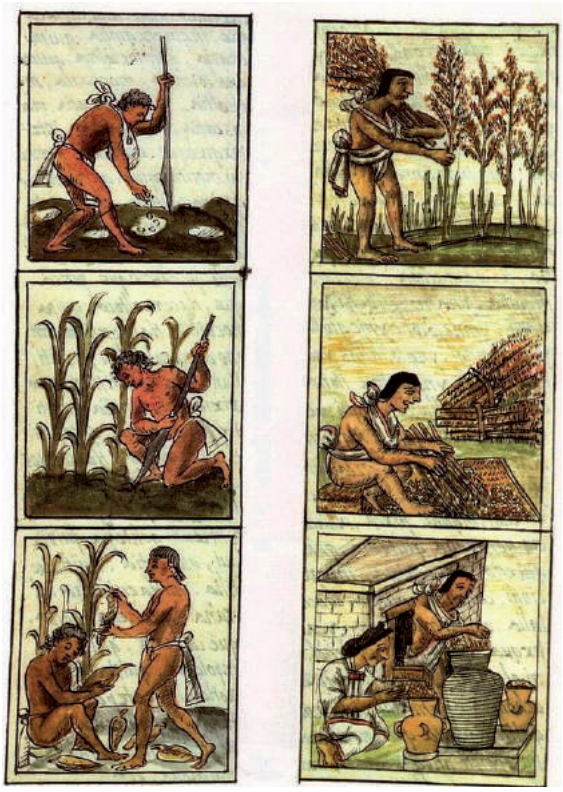
Il domesticamento degli animali
Il buon pastore, IV sec d. C. circa (Basilica di Santa Maria Assunta, Aquileia)

La nascita dell'agricoltura costituì una svolta importante per quanto attiene l'energia. La coltivazione dei cereali e l'allevamento del bestiame consentirono infatti agli uomini di effettuare un controllo sulla produzione energetica di origine sia vegetale sia animale, perlopiù in mano agli schiavi.

La schiavitù nel mondo antico
Schiavi assiri, 640-620-a.C., *Palazzo di Ninive* (Londra, British Museum)

Tale controllo fu esercitato in modi diversi nelle varie parti del mondo e fu tra i fondamenti di alcune delle differenze tra civiltà e culture dei continenti. Le differenze più marcate possono essere colte confrontando l'agricoltura europea con quelle della Cina e del Sud Est asiatico da un lato, e dell'America centro-meridionale dall'altro.

Piantagione del riso in Cina



Atzechi che piantano mais con l'aiuto di un bastone
Codex Florentinus, redazione bilingue della seconda metà del XVI secolo della *Historia universal de las cosas de Nueva España* del missionario Bernardino de Sahagún

L'agricoltura europea era un'agricoltura asciutta che si fondava principalmente sul grano, con una scarsa resa energetica; quella asiatica, basata sul riso, era irrigua, con un'alta resa energetica dovuta all'acqua; quella americana era asciutta, e però caratterizzata dalla presenza di piante ad alta resa energetica, la patata e il mais. Ne consegue che in Europa la quantità di grano che si otteneva per ettaro era assai più bassa di quella del riso in Asia, e della patata e del mais in America. Per avere lo stesso quantitativo di cereale gli europei dovevano dunque compiere un maggior lavoro. Alla base di questa situazione è l'utilizzo, a partire dal 3000 a.C., dell'aratro per far penetrare il vomere nel suolo: da allora agli schiavi si aggiunsero gli animali da tiro che diventarono sempre più indispensabili per la coltivazione dei campi.

I lavori dei campi nel mondo antico
Villa rustica romana presso Cartagine, fine IV secolo (Tunisi, Museo del Bardo)

L'aratro
Nicolas de Lyra, *Commenti al libro della Genesi*, 1395-1402 (Parigi, Bibliothèque nationale de France)

PER SAPERNE DI PIÙ

Le rese agricole dei principali cereali e della patata in età preindustriale

Da 1 ettaro si ricavavano in 1 anno:

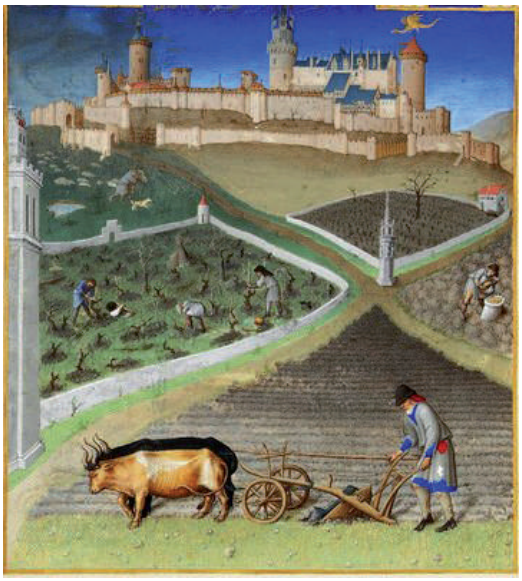
- circa quintali 4 di grano, pari a 1,5-2 milioni di calorie
- circa quintali 13 di mais, pari a 4,5-5 milioni di calorie
- circa quintali 20 di riso, pari a 7,5-8 milioni di calorie
- circa quintali 35 di patate, pari a 7,5-8 milioni di calorie

A differenza delle più redditizie colture americana, che non conosceva l'impiego degli animali domestici, e asiatica, dove prevalse a lungo l'uso della mano e della zappa, il sistema produttivo europeo, più povero originariamente, si costruì così in modo da includere, oltre alla zappa, l'aratro e l'allevamento del bestiame. È stato calcolato che la quantità di Calorie fornite agli uomini dagli animali da tiro con il loro lavoro corrispondeva all'incirca a 5.000 pro capite al giorno. Appare chiara da questa cifra l'importanza degli animali per la produzione di cibo e la conseguente necessità di riservare spazi estesi al pascolo. Di qui il tipico paesaggio europeo che sopravvisse fino al XVII secolo formato di campi, pascoli e boschi.

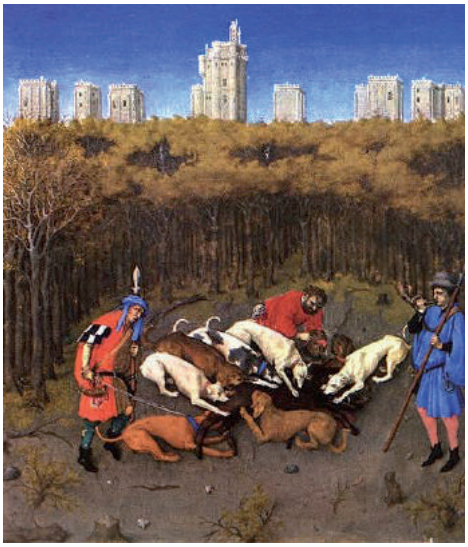
La zappa
Antonio di Girolamo Lombardo coi figli Pietro, Paolo e Giacomo, part. della Porta centrale, 1590-1611
(Loreto, Santuario della Santa Casa)

Man mano che, con la crescita della popolazione, aumentava la richiesta di cibo, il problema veniva risolto con l'abbattimento dei boschi e la conseguente maggior estensione dello spazio necessario, in parte ai campi per la coltivazione e in parte ai pascoli (incolti) per il mantenimento degli animali da lavoro. Questo sistema produttivo

rimase valido fino al XVII secolo, quando la popolazione europea arrivò a superare i 100 milioni di abitanti e la pressione demografica sul suolo cominciò ad avvicinarsi al limite dell'insostenibilità. Non era più possibile guadagnare spazio per i campi né a spese dei boschi, per non pregiudicare la disponibilità di legname, né a spese dei pascoli, per non rinunciare al lavoro degli animali. Il rapporto tra arativi, pascoli e boschi), che per tanti secoli aveva dato luogo al cosiddetto paesaggio agro-silvo-pastorale, si stava facendo critico.



Il campo e, sullo sfondo a sinistra, il pascolo
Fratelli Limbourg, da *Très riches heures du Duc de Berry*, 1416 circa (Chantilly, Musée Condé)



Il bosco
Fratelli Limbourg, da *Très riches heures du Duc de Berry*, 1416 circa (Chantilly, Musée Condé)

Il legno

Il legno entrò a far parte delle risorse energetiche utilizzate dagli uomini molto tempo dopo il cibo. La capacità di utilizzare il fuoco per produrre energia termica risale infatti a circa 500.000 anni fa, quando gli uomini cominciarono a bruciare il legno per la caccia e per la cottura degli alimenti.

Dopo la rivoluzione agricola l'utilizzo della combinazione legno+fuoco venne estesa in quantità crescente a varie altre attività: il riscaldamento, l'illuminazione, la lavorazione della lana, l'edilizia, la costruzione delle navi, la fabbricazione del vetro, l'affinazione dei metalli, per la quale il legno veniva impiegato sotto forma di carbone vegetale, ottenuto con l'eliminazione, mediante un riscaldamento basso e prolungato, dell'acqua contenuta nel legno stesso. La domanda era perlopiù soddisfatta dalla ricrescita naturale degli alberi dei vicini boschi.

Jacob van Ruisdael, *Il grande bosco*, 1655-1660 (Vienna, Kunsthistorisches Museum)

Camille Pissarro, *Il taglialegna*, 1879 (Perth, The Robert Holmes à Court Collection)

È stato calcolato che in Europa nei decenni a cavallo tra il XVII e il XVIII secolo il consumo di legno come fonte energetica era di circa 2 chilogrammi pro capite al giorno, equivalenti a poco più di 7.000 Calorie: di qui l'appellativo dato da alcuni storici di "età del legno" al periodo preindustriale.

Non sempre il rifornimento era facile; anzi, man mano che campi e pascoli si estendevano, il bosco si allontanava, fino a che, alla fine del XVII secolo, la disponibilità di legname cominciò a diventare disagevole con la conseguenza di un aumento del prezzo per via delle difficoltà di rifornimento e di trasporto.

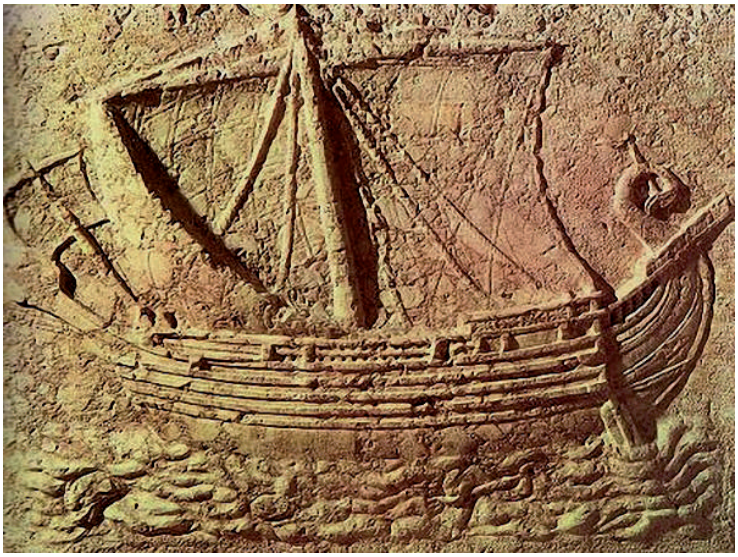
PER SAPERNE DI PIÙ

Il diboscamento

"Prima che questo paese [Inghilterra] si popolasse esistevano molti e vasti boschi abitati da tutte le specie di animali selvatici allora conosciute [...]; e dopo che si fu popolato i boschi furono gradualmente distrutti, specialmente in prossimità delle abitazioni; e più la terra si popolava più i boschi e i nascondigli venivano quotidianamente distrutti; a causa di ciò gli animali selvatici si ritirarono nei boschi che erano stati lasciati intatti, ma che erano molto lontani dai loro covi." (John Manwood, *Manwood's Treatise on the Forest Laws*, London, Nutts, London 1717[4], p. 139, citato in Harrison Pogue Robert, *Foreste L'ombra della civiltà*, Garzanti, Milano, 1992, p. 87)

L'acqua e il vento

Oltre all'energia meccanica ottenuta attraverso la conversione dell'energia chimica del cibo proveniente dai campi e dai pascoli e a quella termica somministrata dai boschi, gli uomini della società europea erano in grado di utilizzare l'energia cinetica del vento e dell'acqua. A partire dal 6.000 a.C. circa essi impararono a costruire zattere trasportate dalla corrente dei fiumi e dal 3.000 in poi, con l'invenzione della vela, furono in grado di trasformare l'energia eolica in movimento utile. Nel corso del Medioevo le navi furono oggetto di continui, ininterrotti perfezionamenti tecnici che incrementarono la loro potenza e la loro efficacia. Il quantitativo di energia prodotta, grazie all'uso dell'energia eolica convertita dalle navi in energia meccanica utile, è stata calcolata di poco più di 50 calorie al giorno pro capite.



Nave mercantile fenicia
Particolare del *Sarcofago di Sidone*, IV-VI secolo (Beirut, Museo archeologico)

Il porto
Particolare della *Città di Classe*, secoli V-VI (Ravenna, Basilica di Sant'Apollinare Nuovo)

Le altre macchine inanimate di cui gli europei fecero largo uso per tutto il periodo precedente la rivoluzione industriale erano i mulini ad acqua e a vento.

I primi mulini ad acqua apparvero intorno al I secolo a.C. nell'Europa meridionale, da dove si estesero nel corso del Medioevo all'Europa settentrionale, crescendo di numero fino a raggiungere la cifra di varie migliaia.

John Constable, *Il mulino di Parham*, Gillingham, 1824 (Cambridge, Fitzwilliam Museum)

Successiva di molti secoli è la comparsa del mulino a vento che si diffuse a partire dal XII secolo in Europa settentrionale, soprattutto nelle pianure attraversate da venti costanti.

L'uso dei mulini sia ad acqua sia a vento, limitato inizialmente alla molitura dei cereali e alla bonificazione delle lagune, si estese per tutta l'epoca precedente la rivoluzione industriale anche ad altre attività produttive, quali la lavorazione del tannino, del malto, della carta, della lana, della canapa, del lino e del vetro, facendo assumere ai mulini, in modo sempre più marcato, il ruolo di macchine per la produzione manifatturiera.

Dal punto di vista del consumo energetico, la quantità approssimativa di energia meccanica fornita dai mulini è stata calcolata per il periodo tra il XVI e il XVII secolo poco più di 50 Calorie pro capite al giorno.

Jacob van Ruisdael, *Il mulino di Wijk presso Duurstede*, 1670 (Amsterdam, Rijksmuseum)

Possiamo dunque dire che le macchine inanimate fornivano agli uomini dell'età pre-industriale una quantità di energia pro capite al giorno (poco più di 100 Calorie) molto inferiore a quella somministrata dai boschi (circa 7.000 Calorie), dai pascoli (circa 5.000 Calorie) e dai campi (circa 2.500). L'importanza però delle navi e dei mulini sta nel fatto che essi furono, secondo l'opinione di alcuni storici, il punto dal quale la società europea iniziò il suo cammino in direzione della costruzione di macchine inanimate come mezzo di lavoro sostitutivo degli animali e degli uomini (macchine animate). Ma prima di prendere questa direzione, essa continuò ad agire, tentando di apportare modifiche migliorative alle risorse provenienti dallo schema tradizionale del campo, del pascolo e del bosco.

La scarsità di suolo

Così, quando intorno alla metà del XVIII secolo la società europea iniziò a trovarsi in una situazione critica, dovuta al rischio che l'equilibrio agro-silvo-pastorale, su cui si era retta fino ad allora, stesse per iniziare a venir meno a fronte della crescente domanda energetica, dovuta all'incremento demografico e al maggior benessere della popolazione, essa concentrò i propri sforzi anzitutto sul suolo. Il primo miglioramento fu ottenuto con l'inserimento dell'allevamento nella rotazione agraria, attraverso la sostituzione dei pascoli incolti con i prati coltivati che consentirono di alimentare, a parità di superficie, un maggior numero di animali. Questa trasformazione dei terreni incolti, fino ad allora beni comuni, con i prati lavorati ebbe come conseguenza la loro privatizzazione.

Contemporaneamente furono intrapresi studi naturalistici a carattere sperimentale, finalizzati al tentativo di avviare, mediante trasferimenti biotici, l'acclimatazione in Europa delle piante ad alta resa dell'America. Grazie agli studi compiuti in Francia da Antoine-Augustin Parmentier (1737-1818), in Inghilterra da Arthur Young (1741-1820) e grazie alle direttive politiche emanate in Prussia dal re Federico II (1712-1786), fu possibile selezionare le varietà delle nuove piante più adatte ai climi temperati, in particolare mais e patate.

Pietro Longhi, *La polenta*, 1740 (Venezia, Museo Ca' Rezzonico)

Vincent Van Gogh, *Piantatori di patate*, 1884 (Otterlo, Kröller-Müller Museum)

Quanto ai boschi, sempre nel corso del XVIII secolo, furono incrementate le ricerche nel settore della gestione forestale che portarono alla nascita di una nuova scienza, la selvicoltura, che si avvalse di nuove tecniche, quali la riforestazione, l'introduzione di specie esotiche a rapida crescita e l'inseminazione artificiale. Ne conseguì che anche la foresta, fino ad allora spazio naturale, fu trasformata in uno spazio produttivo sottoposto all'intervento razionale dell'uomo.

PER SAPERNE DI PIÙ

La foresta spazio produttivo

La foresta tedesca divenne intorno alla metà degli anni Cinquanta del XIX secolo il primo esempio del modo in cui l'uniformità razionale della scienza può prevalere sulla varietà della natura persino in un bosco. A riguardo il consigliere forestale della Sassonia Enrico Cotta riuscì nel giro di pochi decenni a trasformare un insieme eterogeneo (il bosco) in una perfetta scacchiera (la monocoltura boschiva). Obiettivi pratici avevano favorito la perfezione geometrica come segno esteriore della buona amministrazione forestale; inoltre la razionale collocazione degli alberi offriva nuove possibilità di controllare la natura (Harrison Pogue Robert, *Foreste L'ombra della civiltà*, Garzanti, Milano, 1992, p. 143).

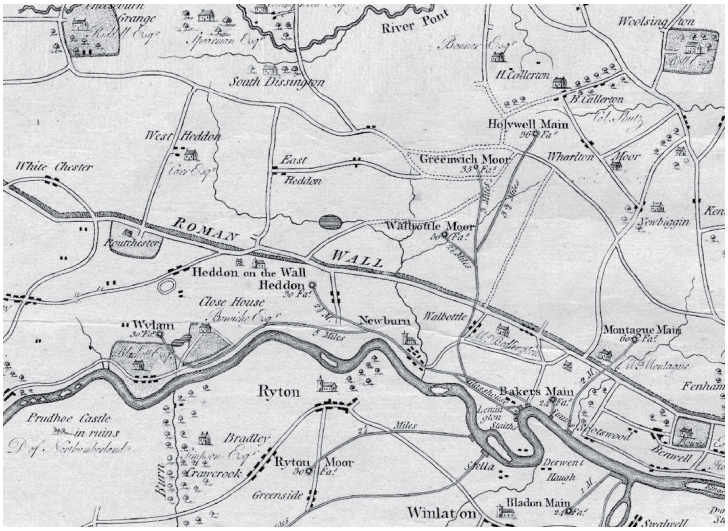
Le risorse energetiche moderne

Gli sforzi compiuti nel XVII e nel XVIII secolo per affrontare la crisi energetica attraverso il perfezionamento e il miglioramento delle tecniche connesse con le fonti energetiche tradizionali non furono sufficienti a fronteggiare la crisi, soprattutto in Inghilterra e in Olanda dove i bisogni della Marina avevano quasi interamente distrutto i boschi.

Il carbone

La soluzione fu allora trovata nel sottosuolo, prima con la torba poi con il carbon fossile.

Si trattò di una svolta fondamentale. Per la prima volta nella loro storia le società europee si rivolsero per i loro consumi energetici a una fonte di energia non rinnovabile. All'inizio, e ancora per un periodo piuttosto lungo, non ne presero coscienza, anzi, di fronte ai limiti ormai imposti dal suolo, il carbone risultò abbondante, ricco e promettente, tale da sostituire il legno e creare in questo modo spazio all'estendersi dei campi. Il nuovo combustibile offriva inoltre il vantaggio di avere un contenuto energetico (circa 7.000-8.000 Calorie per chilogrammo) pari al doppio di quello del legno (circa 3.600 Calorie per chilogrammo). Però richiedeva, soprattutto per alcune manifatture, vari interventi tecnici per poter essere utilizzato in maniera vantaggiosa, quali ad esempio la modifica della forma dei forni per la produzione del pane al fine di evitare contaminazioni di zolfo, la chiusura dei forni per la fabbricazione del vetro, la distillazione del carbone per evitare i fumi nella produzione della birra, forni a riverbero per la fusione del piombo e del rame.



Pianta delle miniere lungo i canali Tyne e Wear in Gran Bretagna, XIX secolo

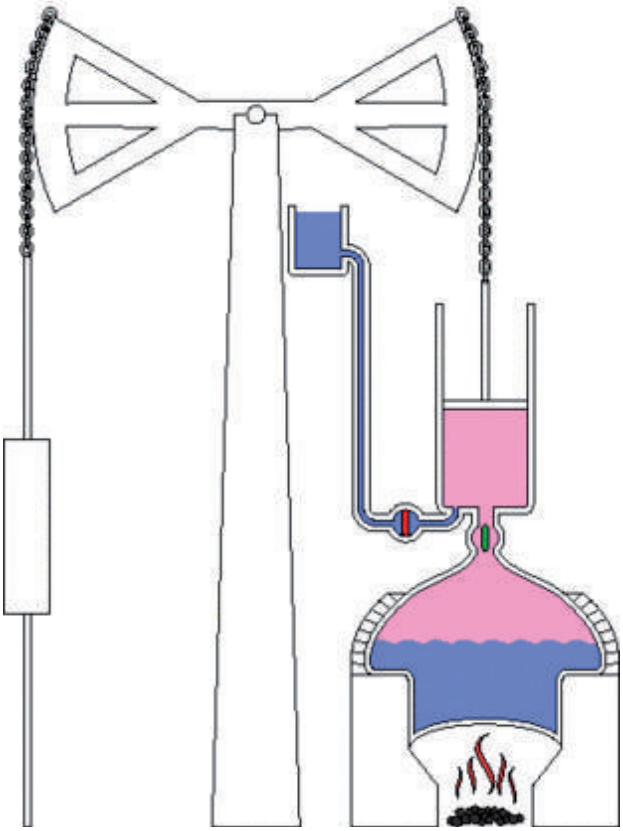
A favorire – inizialmente in Inghilterra, come è noto, mentre sul continente continuavano gli esperimenti sul suolo – l'uso del nuovo combustibile si aggiungeva infine la presenza in prossimità delle miniere di fiumi navigabili atti a favorire il trasporto del prodotto dal luogo di estrazione a quello di utilizzo a prezzi relativamente bassi.

Ne conseguì una crescente domanda di carbone che tuttavia fece sorgere nuovi, gravi inconvenienti: i giacimenti di superficie si esaurirono nel giro di qualche decennio e già all'inizio del Settecento fu necessario scavare le miniere in profondità, con conseguenti problemi sia per la ventilazione sia per il sollevamento del prodotto. Ancora più allarmanti si rivelarono gli ostacoli posti dalle infiltrazioni d'acqua e dall'allagamento dei giacimenti che, con il procedere dello scavo, finivano con il vanificare i sistemi di drenaggio, consistenti in secchi legati a catene mosse da mulini o da cavalli. Intanto la popolazione aumentava e la legna era ormai scarsa. Si era a un passo dalla crisi.

Vincent Van Gogh, *Donne che portano sacchi di carbone*, 1882 (Otterlo, Kröller-Müller Museum)

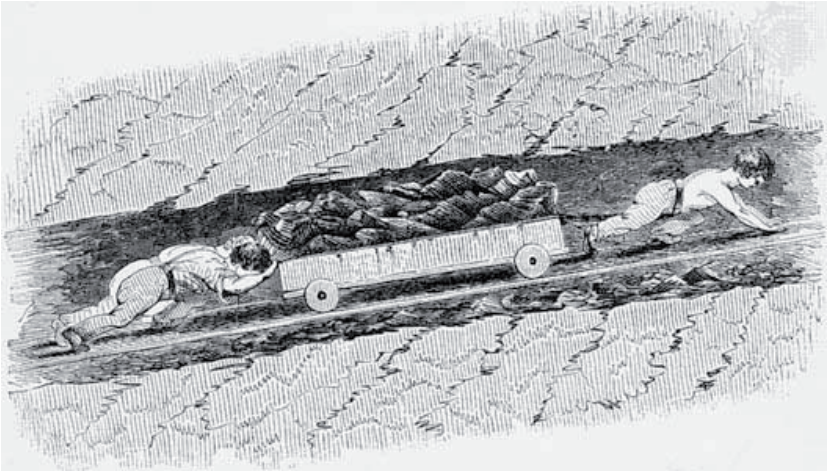
Per risolvere il problema, ormai drammatico, furono allora messe sul tavolo tutte le conoscenze della natura e delle sue leggi, che si erano accumulate nei decenni precedenti, dai principi dettati da Francis Bacon, alle sperimentazioni degli esponenti della rivoluzione scientifica, agli studi dei soci della Royal Society, fino ai saperi pratici dei tecnici, degli artigiani, dei costruttori che tutti quanti avevano contribuito alla formazione in Inghilterra di un vasto bagaglio scientifico-applicativo, il quale, a sua volta, indirizzò in senso economico-produttivo gli studi sulla natura e le sue leggi.

La soluzione fu infine trovata nel 1698 con l'invenzione della pompa di Thomas Savery e in seguito (1712) con quella perfezionata di Thomas Newcomen, che costruì una macchina in grado di eliminare l'acqua dalle miniere: si trattava di un congegno a pistone azionato da un motore a vapore a condensazione interna.



La macchina a vapore di Thomas Newcomen

Essa fu la protagonista della rivoluzione industriale in quanto primo esempio di applicazione dell'energia trasmissibile attraverso il vapore, ovvero della trasformazione dell'energia termica del combustibile in energia meccanica (lavoro di sollevamento dell'acqua della miniera). Questa macchina consentì lo sfruttamento delle miniere situate a considerevole profondità e rese possibile estrarre carbone in quantità eccezionale.



Bambini che trasportano carbone lungo il cunicolo di una miniera in Inghilterra, 1840 circa (Londra, The Wellcome Trustees)

Ma più di tutto aprì la strada a una rivoluzione energetica di grandissima portata storica. Essa segnava infatti il punto di partenza per la trasformazione dell'energia termica in energia meccanica attraverso una macchina inanimata. Senza questa macchina, antesignana degli attuali impianti e macchine a carbone, a gasolio, a benzina, a kerosene, ecc., il sistema energetico di oggi sarebbe inimmaginabile.

Il passo successivo fu quello di trasformare la macchina in un vero e proprio motore. A tal fine occorsero decenni di lavoro, immense quantità di denaro e una capacità tecnico-scientifica elevata. Tra il 1763 e il 1775 fu messa a punto da James Watt una nuova macchina che consentiva una maggior efficienza nella trasformazione dell'energia termica in energia meccanica e che inoltre, grazie alla sostituzione del moto alternato in moto rotatorio, rendeva possibile l'applicazione manifatturiera. Nel 1782 la macchina fu ulteriormente migliorata grazie al denaro investito dall'imprenditore Matthew Bolton.

Contemporaneamente si veniva perfezionando l'uso del carbone nella fusione dei metalli, in particolare del ferro, tanto che esso iniziò ad essere sempre più utilizzato nell'edilizia, sostituendo man mano la pietra. I primi edifici in ferro furono costruiti in Inghilterra e, poco dopo in Francia.

L'Iron Bridge (1775-79) anche detto Ponte di Coalbrookdale dal nome della vicina cittadina, è il primo ponte metallico nella storia delle costruzioni

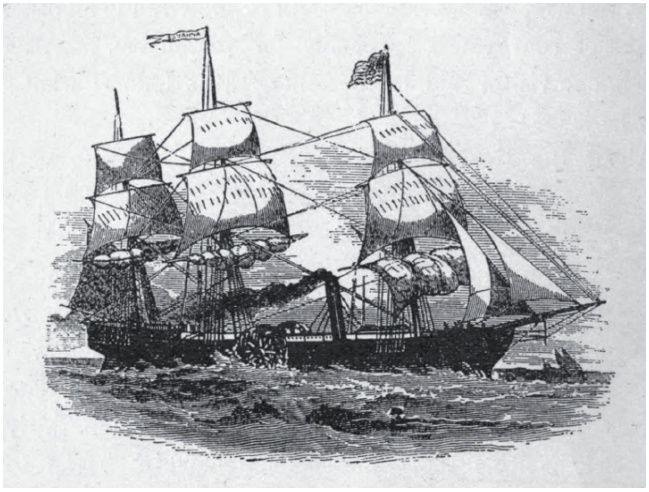
La Biblioteca di Sainte Geneviève, 1838-1850, Parigi

Decimus Burton, *Palm House*, 1841 (Londra, Kew Gardens)

Ulteriori miglioramenti apportati all'inizio dell'Ottocento alla macchina a vapore aprirono nuove, ampie prospettive, e più in particolare la possibilità di impiegare la macchina a vapore nei trasporti e nella distribuzione del carbone. A tali prospettive si opposero tuttavia inizialmente le condizioni delle strade che non erano in grado di sostenere il peso dei motori.

Le cattive condizioni delle strade prima della costruzione delle ferrovie
Giuseppe De Nittis, *La traversata degli Appennini*, 1867 (Napoli, Capodimonte)

Questo il motivo per cui i primi motori furono montati sui battelli fluviali. Nel 1838 venne compiuta la prima traversata atlantica a vela e a vapore. Furono però necessari molti decenni prima che il carbone sostituisse le vele.



La nave a vela e a vapore Savannah compie la prima traversata atlantica, 1819

Quanto all'uso del nuovo combustibile via terra, esso fu reso possibile solo dopo la diminuzione del volume del motore e la costruzione di binari metallici, il cui basso costo era dovuto, come si è visto sopra, all'uso del carbone per la fusione del ferro e in seguito dell'acciaio. Nacque così la ferrovia, che dominò incontrastata per tutto il XIX secolo fino alla Prima Guerra mondiale e che fu all'origine, grazie alle maturate conoscenze ingegneristiche, delle questioni riguardanti i tracciati, le pendenze, le gallerie, i ponti, le stazioni.

Adolf Menzel, *La ferrovia Berlino-Potsdam*, 1847 (Berlino, Nationalgalerie)

William Turner, *Pioggia, vapore velocità*, 1844 (Londra, National Gallery)

Questi progressi ferroviari furono resi possibili dall'investimento di forti somme di denaro da parte di ricchi azionisti. Accordi fra gli Stati e Società per Azioni vennero siglati in tutti i Paesi d'Europa per la costruzione di una fitta rete ferroviaria che consentì il trasporto del carbone dai Paesi produttori a quelli che ne erano privi. L'uso del nuovo combustibile e il processo di industrializzazione che lo accompagnava si veniva così estendendo in tutta Europa. La rivoluzionaria combinazione costituita da carbone, macchina a vapore, conoscenze tecnico-scientifiche e investimenti di capitali era stata vincente e aveva del tutto modificato gli antichi rapporti di lavoro, il paesaggio agro-silvo-pastorale, la preminenza dell'agricoltura, l'isolata vita nei villaggi, in favore di un mondo cittadino formato di capitalisti e di operai al lavoro nelle fabbriche.

Le Creusot-Monceau, 1847 (Le Creusot, Ecomusée Creusot-Monceau)

Laurence Stephen Lowry, *Paesaggio industriale*, 1955 (Londra, Tate)

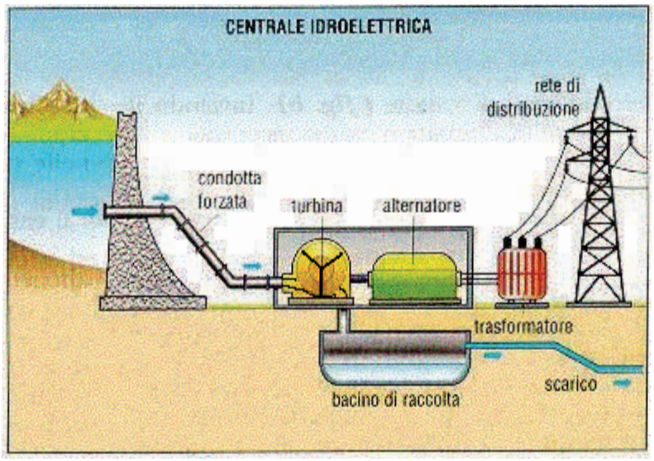
Accanto a questa combinazione le fonti energetiche tradizionali continuarono tuttavia ad essere utilizzate ancora per gran parte del XIX secolo: l'acqua per i mulini nelle manifatture tessili, soprattutto in Italia settentrionale, Francia, Svizzera e Stati Uniti; il legno negli Stati Uniti, dove la grande abbondanza di foreste contribuì a tenerne basso il prezzo; il vento per i velieri che a lungo gareggiarono con i piroscafi prima che questi ultimi prendessero il sopravvento.

Dalla vela al vapore
William Turner, *La valorosa Téméraire trainata al suo ultimo ancoraggio per essere demolita*, 1838 (Londra, National Gallery)

Agnese Viansson Ponte, *D'après Turner, La valorosa Téméraire trainata al suo ultimo ancoraggio per essere demolita*, 2016 (Londra, Collezione privata)
Si noti la presenza di alberi in cima alla scogliera

La produzione di energia elettrica

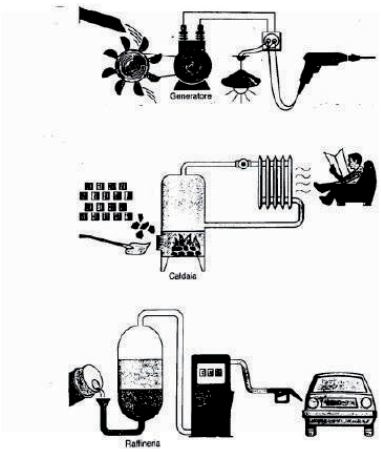
All'energia termica originata dal carbone si deve infine la possibilità di produrre energia elettrica, forma energetica esistente in natura e nota fin dall'antichità, ma inutilizzabile perché troppo costosa rispetto alle conoscenze tecniche di allora, anche dopo l'invenzione della pila (1800) da parte di Alessandro Volta. Fu infatti solo nel 1870 che, dopo numerose ricerche e vari tentativi compiuti da scienziati statunitensi ed europei – tra i quali ricordiamo Hans Christian Oersted, André-Marie Ampère, Michael Faraday, Thomas Alva Edison e Antonio Pacinotti –, l'energia prodotta con le batterie divenne socialmente utilizzabile grazie alle ricerche sul magnetismo che sfociarono nella dinamo (1870) dell'ingegnere di origine belga Zénobe-Théophile Gramme (1826-1901). Egli riuscì in quell'anno a costruire un generatore azionato da una macchina a vapore in grado di produrre corrente elettrica utile per l'illuminazione. E fu però necessario attendere la fine del XIX secolo perché, con l'invenzione del motore elettrico, divenisse possibile convertire l'energia elettrica in energia meccanica utile.



Schema di funzionamento di una centrale idroelettrica

Contemporaneamente fu aperta la possibilità di produrre energia elettrica mettendo in moto la turbina attraverso l'energia cinetica di una caduta d'acqua (energia idroelettrica). In questo secondo caso vennero costruiti impianti (centrali idroelettriche) formati in genere da un bacino, ottenuto tramite una diga, per la raccolta dell'acqua; da un sistema per il convogliamento di tale acqua alle turbine; e infine da generatori per la trasformazione dell'energia cinetica dell'acqua in elettricità.

Man mano che l'elettricità si veniva diffondendo (XX secolo) il suo costo si abbassava, rendendo in tal modo economicamente interessante l'invenzione di molte nuove applicazioni: tra esse il telefono, l'illuminazione, gli ascensori, la radio, gli elettrodomestici, fino ai computer e ai telefoni cellulari di oggi.



Nelle figure sono riportati alcuni esempi di processi di trasformazione di fonti di energia primaria in secondaria.

Il passaggio da una forma energetica a un'altra

Pionieri della realizzazione di grandi dighe per la produzione idroelettrica furono gli Stati Uniti che costruirono i primi manufatti nel Sud Est, coordinando vari bacini fluviali, in particolare sul fiume Missouri (1940). Dopo la Seconda Guerra Mondiale ne costruirono altri (1954, 1963); fu poi la volta del Pakistan sullo Jhelum (1944), della Turchia sull'Eufrate (1945), dell'Unione Sovietica con gli sbarramenti sul Volga (1955) e sul Vahš (1980) e dell'Egitto con la diga Nasser sul Nilo (1970). Le grandi dighe continuano tutt'ora a essere costruite, anche se stanno cominciando a mostrare crescenti risvolti negativi rispetto ai progetti iniziali (rese inferiori, costi più alti, degrado ambientale e sociale, fenomeni erosivi, problemi nelle relazioni internazionali).

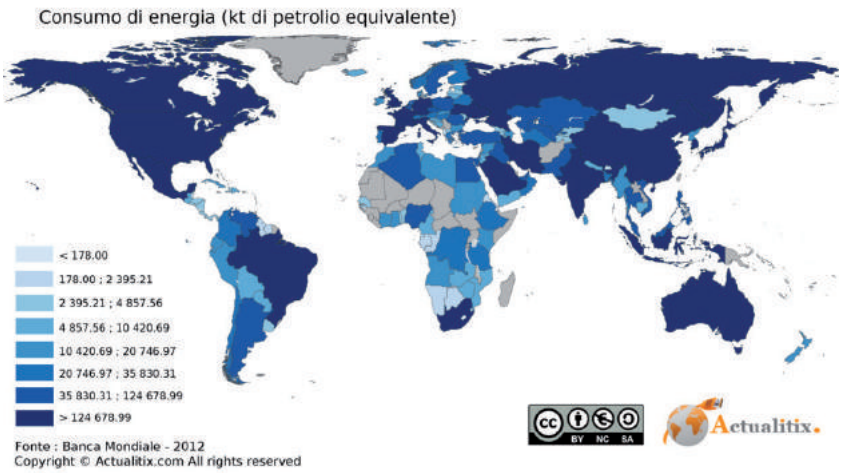
Diga di Kariba, completata nel 1977 sul fiume Zambesi al confine tra Zambia e Zimbabwe
Oggi mostra fenomeni erosivi alla base

Diga delle Tre Gole sul Fiume Azzurro in Cina, completata nel 2006
Il manufatto, di proporzioni gigantesche, è finalizzato alla produzione di energia elettrica. Esso ha richiesto l'evacuazione di un milione e mezzo circa di abitanti e la sommersione di circa 1.350 villaggi. La diga è stata osteggiata fin dall'inizio dalle associazioni ambientaliste

Attualmente molto contestato il complesso di dighe del fiume Narmada, avviato negli anni Ottanta e di cui per ora solo alcune parti sono state realizzate, mentre le altre sono ancora in progetto: tra esse la costruzione di nuovi invasi e quella di canali lunghi centinaia di chilometri finalizzati a irrigare zone desertiche a Nord Ovest del fiume, e però arrecanti una serie di effetti collaterali di ampie dimensioni dal punto di vista sia dei costi, sia degli ecosistemi e degli ambienti sociali. Pertanto tali progetti hanno cominciato ad essere osteggiate non solo da vari gruppi ambientalisti, dalle popolazioni locali e da molti rinomati studiosi di questioni idriche, ma perfino dalla Banca Mondiale che ha ritirato i suoi finanziamenti in nome dello svantaggioso rapporto costi/benefici.

Non meno preoccupante, questa volta dal punto di vista del rischio di guerre per l'acqua, la situazione del complesso di Atatürk che consente alla Turchia il controllo delle acque dell'Eufrate in Siria e in Iraq; o quella dell'Egitto che si oppone alla costruzione di dighe sul Nilo a monte della diga Nasser, in particolare al progetto etiopico sul Nilo azzurro; o ancora quello della diga di Farakka (costruita nel 1961) attraverso la quale l'India utilizza le acque del Gange secondo le proprie esigenze, danneggiando il Bangladesh.

Oggi l'acqua produce all'incirca il 7% dell'energia prodotta nel mondo.



Il consumo di energia nel mondo

In Italia fu la Lombardia a utilizzare per prima l'energia elettrica con lo scopo di convertirla in energia meccanica e avviare grazie ad essa il decollo della propria industrializzazione, che non avrebbe potuto avvenire in altro modo, dato che il Paese mancava di carbone, importata ad alto prezzo dall'Inghilterra. Punto di partenza della svolta impressa all'uso dell'acqua delle valli montane della regione fu la città di Milano, dove gli studi sull'elettricità condotti dal Politecnico godevano fin dalla seconda metà

degli anni Settanta del XIX secolo di particolare attenzione, tanto che nel capoluogo lombardo venne costruita di fianco al Duomo nel 1883 la prima centrale termoelettrica d'Europa. La domanda di energia cresceva con l'incremento del numero delle fabbriche cittadine; nuovi impianti a carbone vennero edificati, ma il costo della produzione di energia termoelettrica si rivelava eccessivo. Mentre sull'altro fronte l'evoluzione della ricerca inaugurava la possibilità del trasporto di elettricità a distanza grazie alla messa a punto della corrente alternata.

La prima sede del Politecnico di Milano in piazza Cavour

La nuova tecnica del trasporto a distanza rese economicamente vantaggioso lo sfruttamento dell'acqua per la produzione di energia elettrica: non più solo per l'illuminazione, ma anche come forza motrice. Da allora in poi "acqua" in Lombardia significò conversione elettrica: ovvero l'intreccio di una materia prima (l'acqua) e di una tecnica (la turbina e il generatore per la trasformazione dell'energia meccanica in energia elettrica) che aprì la possibilità di affrancarsi dalla dipendenza dal carbone importato a caro prezzo. Il primo impianto idroelettrico lombardo fu costruito a Paderno a circa 20 km da Milano. Poi si cominciò a salire in montagna, in particolare in Valtellina, con lo scopo di sfruttare i salti d'acqua di fiumi e torrenti. Contadini, pastori e artigiani entrarono in rapporto diretto con grandi finanzieri, ingegneri e tecnici, e divennero operai. Per la società e l'ambiente della montagna si preparava una trasformazione radicale.

Nel 1910 fu edificata la centrale di Grosio cui ne seguirono altre, sempre più potenti, che sfruttavano l'acqua dei torrenti immissari dell'Adda. In pochi anni la Lombardia raggiunse più del 90% della potenza installata di derivazione idraulica, andando così ad occupare il primo posto in Europa nella produzione di energia idroelettrica. I comuni della Valtellina si trovarono in tal modo sempre più coinvolti come fornitori di manodopera per la costruzione di condotte, gallerie, strade, edifici, canali.

La centrale idroelettrica di Grosio (1910) in Valtellina

All'edificazione delle centrali seguì l'elettrificazione della linea ferroviaria della valle che portò una nuova ventata di sviluppo attraverso il turismo.

Teatro della costruzione di impianti elettrici furono anche le valli di Bergamo e Brescia, dove le centrali vennero realizzate soprattutto sui torrenti Poja e Dezzo.

Con la Prima Guerra mondiale e poi con il Fascismo la richiesta di energia crebbe, tanto che furono varati provvedimenti legislativi tesi ad agevolare l'iter procedurale delle richieste di concessione di derivazioni di acque pubbliche. In tale direzione spingevano sia l'accentuato nazionalismo economico del fascismo, teso ad enfatizzare la mistica del "carbone bianco" autarchico, sia l'alto costo degli impianti termoelettrici. Da queste spinte derivarono una serie di facilitazioni legislative e finanziarie ratificate dal potere pubblico che accordarono agli industriali idroelettrici la possibilità di costruire in precario, cioè prima del riconoscimento delle concessioni. Seguirono una serie di incentivi, quali finanziamenti e sovvenzioni ai costruttori, facilitazioni che furono alla base del compiersi di un passaggio fondamentale: quello che, dal semplice sfruttamento dei salti e delle deviazioni d'acqua, portò alla costruzione di invasi artificiali atti a consentire la disponibilità di potenza idrica anche nei periodi di magra. Gli anni Venti e Trenta furono anni di sviluppo imponente che si svolse soprattutto sulla spinta dell'avvio dell'elettrificazione della rete ferroviaria nazionale; del definitivo abbandono del settore termoelettrico a seguito delle sanzioni commerciali (1935) imposte all'Italia dall'Inghilterra dopo la Guerra d'Etiopia; e infine del potenziamento dell'industria metalmeccanica, dettato dal patto di alleanza militare con la Germania del 1939, in vista della preparazione alla guerra.

Manifesto in favore dell'elettricità autarchica

Nuovi impianti entrarono in funzione sia in Valtellina, a Fusine, Grosio e Stazzona, sia nel bacino dell'Adamello e in Val Camonica, a Temù, Isola, Cedégolo e Sonico.

Numerose, numerosissime, furono le vittime per gli incidenti sul lavoro e per la malattia professionale della silicosi. Ma non solo: nel dicembre del 1923 accadde il primo grande disastro, quello del cedimento della diga posta sul torrente Gleno, in Alta Val di Scalve, che causò oltre 500 vittime e che occupa, per il numero dei morti, il secondo posto dopo la sciagura del Vajont, di cui si dirà più avanti. La diga cedette e una grande quantità di acqua si riversò a valle fino all'imbocco del fiume Dezzo in Oglio, distruggendo e sommergendo persone e cose che via via trovava sul suo passaggio. Durante il processo che seguì la catastrofe, emerse che i lavori, iniziati prima dell'approvazione, erano stati modificati in corso d'opera. Il processo, che durò quattro anni, si concluse con pene lievi per gli imputati: lo Stato fu dalla loro parte sia perché corresponsabile, per la mancata vigilanza, sia perché intenzionato ad amplificare gli aspetti positivi della costruzione delle dighe e a celare quelli problematici.

Le rovine della diga di Gleno (Val di Scalve) oggi

A guerra terminata venne completata la diga di San Giacomo e vennero costruite quelle di Trona e dell'Inferno, anch'esse in Valtellina.

Il bacino e la diga di San Giacomo in Valtellina

Fra il 1950 e il 1955 iniziò la decadenza dell'impero idroelettrico. L'esaurimento dei luoghi più immediatamente vantaggiosi, accompagnato dall'affacciarsi sul mercato internazionale dell'offerta di petrolio (il nuovo combustibile per la produzione di energia termoelettrica) ridisegnò la geografia dell'elettricità alpina. Molte centrali a corrente fluente o installate sotto invasi di limitata capienza vennero chiuse: un esempio è costituito da quella di Cedégolo sull'Oglio, in Val Camonica, dismessa nel 1960 e trasformata in Museo dell'elettricità.

Centrale idroelettrica di Cedégolo in Valcamonica
Oggi Museo dell'energia

In senso contrario all'ampliamento del settore idroelettrico spingeva il Piano Marshall che a partire dalla fine degli anni Quaranta indirizzò le scelte verso lo sviluppo delle centrali termoelettriche a petrolio e derivati, sospingendo all'acquisto di macchinari americani, a prezzi decrescenti. In aumento furono invece i costi di produzione degli impianti idroelettrici per via della necessità di mettere in opera costruzioni con problemi tecnico-economici sempre più complessi. Già negli anni Sessanta la produzione di energia termoelettrica passava da meno del 10% a circa il 35%: una percentuale destinata a salire fino all'80% circa di oggi.

E tuttavia potenziamenti e costruzioni di dighe continuarono nelle vallate alpine ancora a lungo. Un esempio è costituito dalla diga di Grosio in Valtellina portata a termine nel 1960. Nonché da una tristissima pagina della storia italiana in questo settore: quella del disastro del Vajont, la più grave catastrofe energetica del XX secolo, avvenuta la sera del 9 ottobre 1963 nel bacino idroelettrico artificiale del torrente omonimo al confine tra Friuli e Veneto. Lo scopo della diga era di fungere da serbatoio idrico di regolazione stagionale per le acque del fiume Piave e dei torrenti Maè e Boite, che scaricavano nel bacino della Val Gallina, alimentando la centrale di Soverzene. Ma il progetto si trasformò in disastro.

Il bacino e la diga del Vajont prima dello smottamento del Monte Toc (1953)

Il bacino e la diga del Vajont dopo lo smottamento del Monte Toc
Si noti che la diga è rimasta intatta

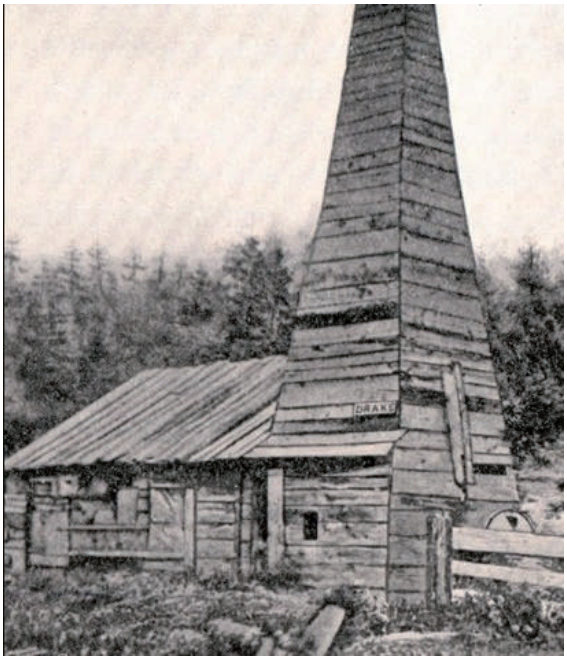
La tragedia, nella quale morirono poco meno di 2.000 persone, fu causata dallo smottamento di una colossale parte del pendio del Monte Toc, che sovrastava il bacino lacustre realizzato con l'omonima diga (nota anche con il nome di Diga Carlo Semen-

za in onore dell'ingegnere che la progettò e ne seguì la costruzione sin quasi alla fine) e che si riversò nelle acque del bacino stesso. Ne conseguì la tracimazione dell'acqua contenuta nell'invaso che colpì dapprima il paese di Erto e Casso, geograficamente vicino alla riva del lago dopo la costruzione dell'impianto, mentre il superamento di quest'ultimo da parte dell'onda generata dallo smottamento del Monte Toc provocò l'allagamento e la distruzione degli abitati del fondovalle. Totalmente annientato fu il villaggio di Longarone, ricostruito ex novo in località vicina. La diga è rimasta intatta ed è visibile ancora oggi dalla Valle del Piave.

Le cause del disastro, dopo numerosi dibattiti, indagini e processi, furono ricondotte alla colpa dei progettisti e dirigenti della SADE (Società Adriatica di Elettricità), ente gestore dell'opera fino alla nazionalizzazione dell'energia elettrica (1962), i quali occultarono, con il benestare del Ministero dei Lavori Pubblici e dei comuni interessati, l'insufficienza delle loro indagini e coprirono l'inadeguatezza dei versanti del bacino, caratterizzati da una morfologia incoerente e fragile, tale da renderli inadatti a sostenere la pressione di un bacino idroelettrico.

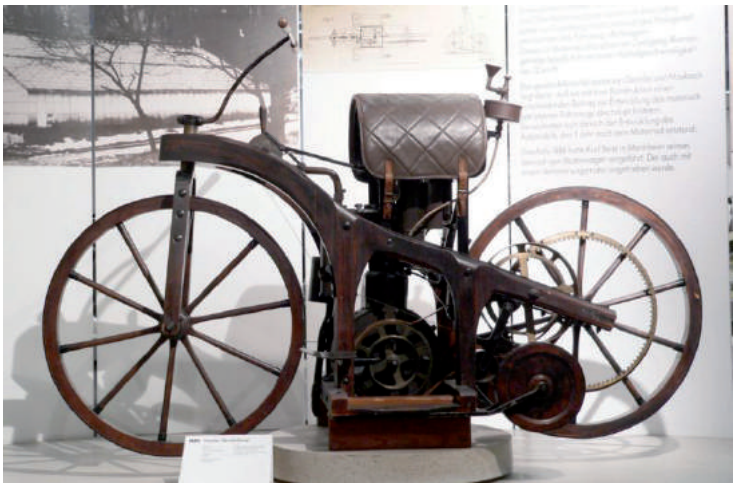
Il petrolio

La storia moderna del petrolio comincia in Pennsylvania, a Oil Creek, nel 1859 con la prima trivellazione compiuta da Edwin Drake.

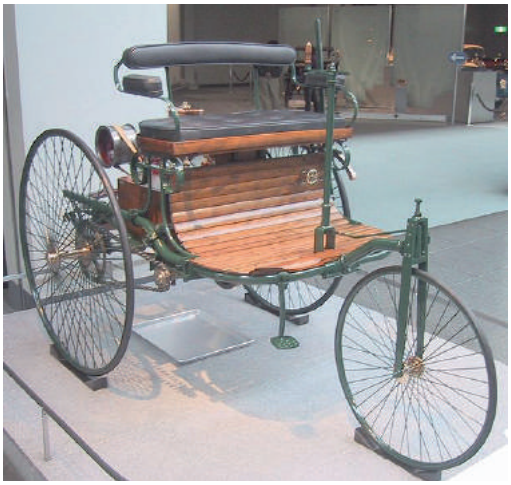


Drake e la prima torre di trivellazione detta Derrick nel 1859 a Titusville (Stati Uniti)

Rapidamente seguirono scoperte di nuovi pozzi, tanto che già alla fine del XIX secolo il petrolio era estratto in Romania, sulle coste del Mar Caspio, in California, nel Texas e a Sumatra, e in seguito in Messico (1901), in Iran, a Trinidad e in Venezuela. Il successo del nuovo combustibile è da connettere con l'invenzione del motore a combustione interna, avvenuta nel 1885 da parte dell'ingegnere e imprenditore tedesco Gottlieb Daimler che in quell'anno riuscì a costruire un prototipo a quattro tempi, in grado di trasformare l'energia termica del petrolio in energia meccanica. Un anno dopo un altro ingegnere tedesco, Karl Friedrich Benz, realizzò nella sua officina un'automobile a quattro ruote. Il modello ebbe notevole successo, al punto che in breve tempo altre automobili vennero costruite in Europa e negli Stati Uniti.



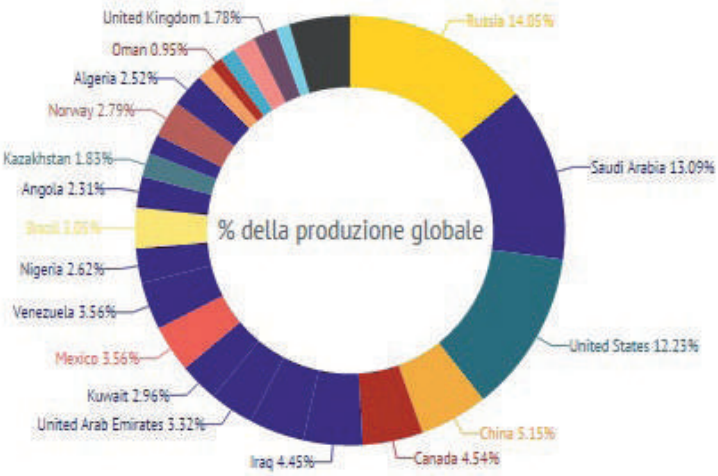
Prototipo di motore a scoppio realizzato da Gottlieb Daimler, 1886 (Neckarlsum - Germania, Deutsches Zweirad Museum und NSU)



L'automobile di Karl Friedrich Benz, 1886 (Aichi, Toyota Automobile Museum)

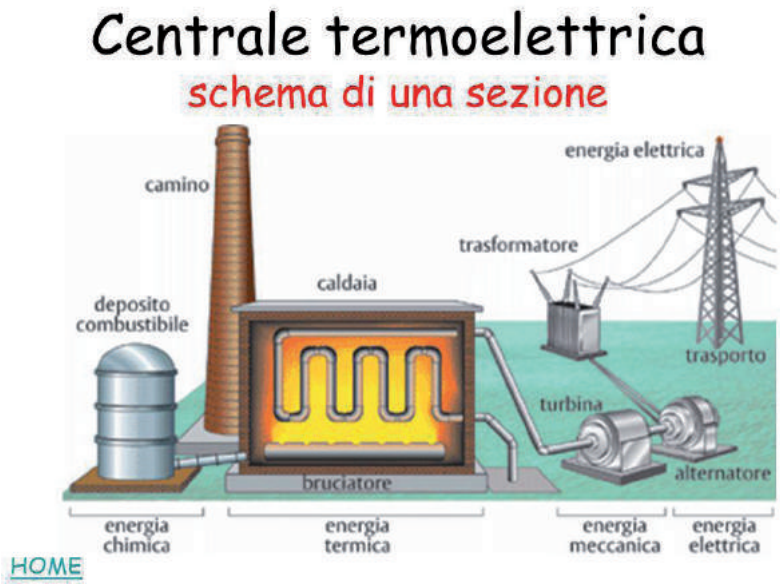
Come il binomio carbone+ferrovia era stato alla base del processo di industrializzazione verificatosi a partire dalla fine del XVIII secolo, così la coppia petrolio+motore a combustione interna si pose come punto di partenza dello sviluppo economico del XX secolo, ma rispetto a quella era di dimensioni molto più consistenti. Nel 1900 il petrolio copriva meno del 4% del consumo mondiale di energia, mentre il carbone regnava con una quota dell'80%. Nel 1955 la percentuale di carbone era scesa a poco più del 50% circa e quella di petrolio si aggirava intorno al 30%. Nel 1973, con un consumo energetico triplicato rispetto al 1955, la quota del petrolio salì al 47%, mentre quella del carbone scese al 28%. Da allora a oggi l'industria fondata sul petrolio è cresciuta ulteriormente, al punto da modificare lo stile di vita di una parte sempre maggiore della popolazione della terra. Parimenti è avanzata la tecnologia del petrolio e dei suoi derivati con la conseguenza di una maggior disponibilità di energia, un accelerato processo di industrializzazione e un incremento della crescita dell'economia.

Pozzo petrolifero in Arabia Saudita



Paesi produttori di petrolio nel mondo
(Fonte CIA World Factbook)

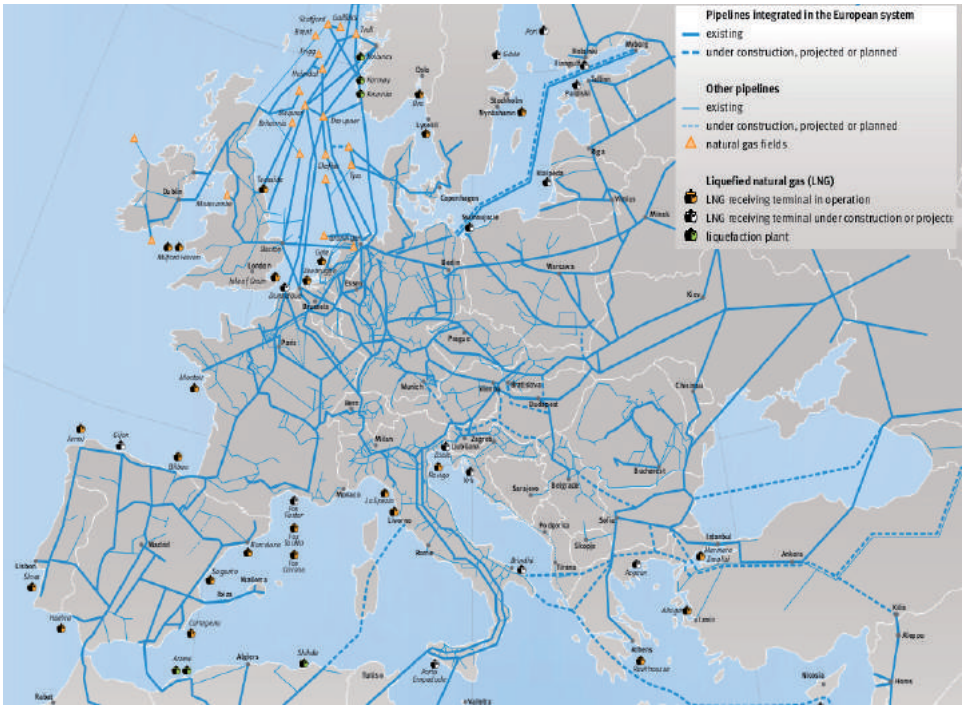
A differenza del carbone, che è una fonte ad alta intensità di capitale e anche ad alta intensità di lavoro, il petrolio è una fonte ad alta intensità di capitale e a bassa intensità di lavoro. Ne consegue che coloro che dispongono di capitali da investire in petrolio hanno un potere molto superiore rispetto a quello dei proprietari di miniere. A riguardo valga l'esempio di John Davison Rockefeller che fin dagli anni Settanta aveva messo a punto per la Standard Oil, una delle più grandi compagnie petrolifere, il sistema "dal pozzo alla pompa" in base al quale l'imprenditore statunitense non si limitava ad acquistare giacimenti petroliferi, ma anche petroliere e oleodotti, raffinerie e stazioni di servizio, perfezionando così la strategia di essere il produttore a più basso costo e di realizzare i profitti attraverso volumi di vendita sempre più ingenti, battendo i concorrenti in maniera spietata.



Schema di funzionamento di una centrale termoelettrica

Il gas

A partire dagli anni Settanta del XX secolo un altro combustibile fossile iniziò a guadagnare terreno. Si tratta del gas naturale o metano, per l'utilizzo del quale vennero costruite, e continuano ad essere costruite, apposite, costose e complesse infrastrutture (metanodotti o gasdotti). Un esempio a riguardo è quello del trasporto in Italia del gas algerino via Tunisia e Canale di Sicilia. L'altro mezzo di trasporto del gas è quello via mare che richiede che il combustibile venga liquefatto in prossimità dei porti di caricamento e rigassificato nei porti di arrivo. Questo secondo sistema viene utilizzato per le lunghe distanze. Appare chiaro che il gas, ancora più del petrolio, è un settore ad alta intensità di capitale, soprattutto per la parte relativa alle lunghe distanze. Esso copriva all'inizio del XX secolo una piccola percentuale della domanda energetica, salì al 15% nel 1973 e poi a più del 20% con l'inizio del XXI secolo.

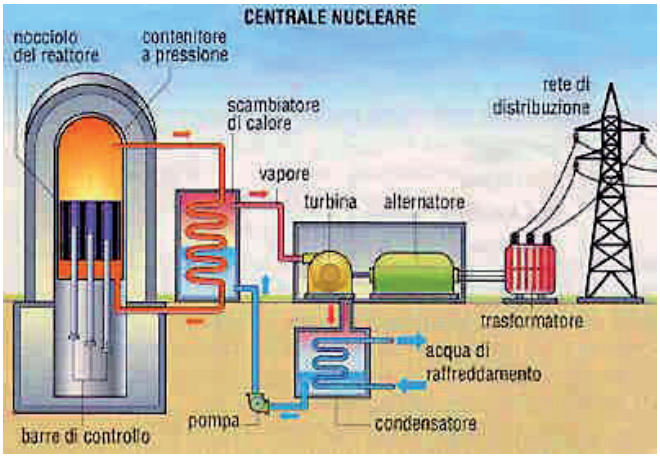


Mappa dei gasdotti in Europa
(Fonte Eurogas Statistical Report 2014)

L'uranio e le centrali elettro nucleari

L'uranio, i cui giacimenti si trovano soprattutto in Canada, Stati Uniti, Australia e Brasile, si estrae da due minerali, la pechblenda e la carnotite. Esso è la principale materia prima per la produzione di energia elettrica nelle centrali nucleari.

Si è visto più sopra, a proposito delle forme energetiche, come la fissione dei nuclei di uranio produca energia termica. Nelle centrali questa energia viene utilizzata per riscaldare acqua che diventa vapore e aziona, esattamente come nelle altre centrali termoelettriche, una turbina che produce energia elettrica.

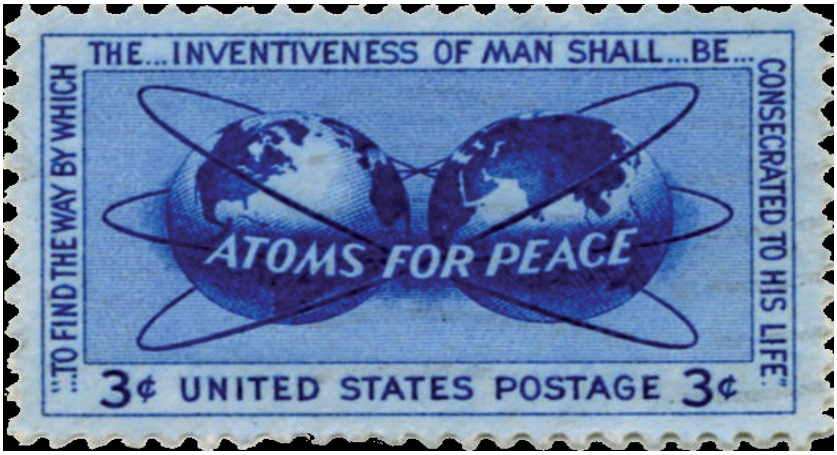


Schema di funzionamento di una centrale nucleare

Tuttavia a differenza delle centrali termoelettriche nelle quali vengono bruciati combustibili fossili con conseguente emissione di CO2, le centrali elettronucleari non emettono gas serra e non hanno pertanto alcun rapporto con il cambiamento climatico. Però pongono altri gravissimi problemi, tra i quali quello dello smaltimento delle scorie, ossia degli elementi radioattivi che si producono durante la reazione di fissione del nucleo atomico e che però non possono più essere utilizzati. Questi elementi rimangono attivi, emettendo radiazioni pericolose che possono essere di breve o anche di lunghissima durata. Pertanto è necessario prevedere zone di stoccaggio per il loro smaltimento. A riguardo purtroppo non si è ancora riusciti a garantire che ciò possa avvenire in condizioni di piena sicurezza. Ne consegue che può accadere che essi vengano stoccati in Paesi non regolamentati, spesso molto lontani dal sito ove è ubicata la centrale. Un ulteriore motivo di preoccupazione è legato al fatto che i materiali utilizzati nelle centrali nucleari di fissione possono essere modificati per fabbricare ordigni nucleari a scopo bellico.

La centrale nucleare di Kalkar am Rhein trasformata in parco divertimenti

I primi reattori nucleari furono utilizzati alla fine della Seconda Guerra mondiale per la costruzione di bombe (Hiroshima e Nagasaki, agosto 1945). Negli anni della Guerra fredda tra Stati Uniti e Unione Sovietica (1947-1989) gli arsenali nucleari delle due superpotenze vennero costantemente aggiornati e incrementati (1979-1989), tanto da indurre al timore dello scoppio di una guerra nucleare. Contemporaneamente si veniva facendo strada il progetto di un uso pacifico dell'energia nucleare. Il primo reattore ad uso produttivo venne realizzato in Unione Sovietica nel 1954. Due anni dopo fu la volta di Calder Hall in Inghilterra e nel 1958 di Shippingport in Pennsylvania. Prevaleva un clima di fiducia verso le opportunità produttive che l'energia nucleare avrebbe aperto. Esemplare in proposito il discorso *Atoms for peace* tenuto dal presidente americano Dwight Eisenhower all'ONU nel 1953, in cui annunciava l'avvento della nuova fonte energetica sostenendo che avrebbe rapidamente sostituito le altre.



Francobollo commemorativo del discorso di Dwight Eisenhower "Atoms for Peace"

Le prime avvisaglie di crisi

Nel 1972 venne pubblicato il Rapporto del MIT per il Club di Roma, *I limiti dello sviluppo*, di Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randres e William W. Behrens III che prevedeva un declino per l'umanità entro cento anni nel caso in cui non fossero stati ridimensionati tasso di crescita della popolazione, dell'industrializzazione, dell'inquinamento e dell'impoverimento delle risorse.

In estrema sintesi, gli autori giunsero alle seguenti conclusioni:

1) se l'attuale tasso di crescita della popolazione, dell'industrializzazione, dell'inquinamento, della produzione di cibo e dello sfruttamento delle risorse continuerà inalterato, i limiti dello sviluppo sulla terra saranno raggiunti all'incirca entro i prossimi cento anni. Il risultato più probabile sarà un declino improvviso ed incontrollabile della popolazione e della capacità industriale;

2) è possibile modificare i tassi di sviluppo e giungere ad una condizione di stabilità ecologica ed economica, sostenibile anche nel futuro. Lo stato di equilibrio globale dovrebbe essere progettato in modo che le necessità di ciascuna persona sulla terra siano soddisfatte e che ciascuno abbia uguali opportunità di realizzare il proprio potenziale umano.

Giardino verticale "spontaneo" su una torre medievale

Giardino verticale di Stefano Boeri a Milano

Nello stesso 1972 il biologo statunitense Barry Commoner pubblicò *Il cerchio da chiudere* nel quale sosteneva che le merci prodotte sono estranee alla natura e non entrano nel suo ciclo. I cicli della produzione delle merci avrebbero potuto essere meno nocivi se si fossero avvicinati a quelli naturali che sono chiusi: il che significa che in essi (cicli) ogni materia dopo l'uso torna ad essere utile per la vita. Commoner partiva da una tesi semplice. La natura funziona con cicli chiusi: il ciclo dell'acqua, dell'ossigeno, del carbonio, dell'azoto, del fosforo. Le trasformazioni naturali sono alimentate dall'energia del sole, la materia rientra sempre in ciclo e viene riutilizzata. La natura non conosce rifiuti: le sostanze chimiche estratte dall'aria, dall'acqua, dal terreno, ritornano in circolazione e ridiventano materie prime per altri cicli naturali. La degradazione ambientale e gli inquinamenti provocano la rottura dei cicli naturali che da chiusi si fanno aperti; dalle riserve viene estratta più materia di quanta non venga restituita; i rifiuti aumentano in misura tale che la natura non riesce ad assimilarli tutti. Il problema può essere risolto solo se interventi urgenti, tecnico-scientifici e politici, riescono di nuovo a "chiudere" i cicli naturali.

Il mondo di fronte agli shock petroliferi

Il primo segnale dei problemi destinati ad accompagnare in maniera sempre più inquietante la crescita economica basata sul petrolio si ebbe nel 1973 con lo shock petrolifero che vide i principali Paesi produttori di petrolio – Iran, Iraq, Kuwait, Arabia Saudita e Venezuela unitisi nel 1960 nel cartello dell'OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) – alzare il prezzo del petrolio da 3 a 12 dollari al barile (159 litri) e nello stesso tempo ridurre del 25% l'offerta sui mercati internazionali. L'OPEC era stato fondato con l'obiettivo di contrastare il predominio economico delle aziende petrolifere occidentali, principalmente americane e inglesi, che fin dagli anni Quaranta, attraverso l'ottenimento a basso costo di concessioni per l'estrazione, esercitavano un controllo praticamente assoluto sulla filiera produttiva (riserve, estrazione, raffinazione, commercializzazione). Le maggiori compagnie occidentali, note con l'appellativo di Sette sorelle, erano riuscite negli anni Sessanta a controllare la quasi totalità del petrolio mediorientale, definendo in modo unilaterale le quote di estrazione e il prezzo del petrolio. Al fine di bilanciare l'offerta e la domanda per mantenere alti i loro profitti, le Sette sorelle imponevano spesso quote di estrazione inferiori alla capacità massima dei Paesi produttori con ovvie ricadute sugli introiti degli stessi. Di fronte a questa situazione l'OPEC si pose come obiettivo quello di concordare la quantità e il prezzo del petrolio prodotto dai Paesi membri.

Le Sette Sorelle

Si apriva una fase completamente nuova nella vicenda energetica. I Paesi importatori di petrolio, cioè Europa occidentale, Giappone e molti appartenenti all'insieme dei cosiddetti Paesi in via di sviluppo, furono drammaticamente danneggiati dal passo compiuto dall'OPEC. L'aumento del prezzo del petrolio – ripetuto negli anni immediatamente successivi e ulteriormente accentuato (32 dollari al barile) nel 1979 a seguito della destituzione dello scià dell'Iran, della rivoluzione di Khomeini e della guerra tra Iran e Iraq – mandò temporaneamente in crisi i bilanci dei Paesi obbligati a ricorrere al mercato estero per gli approvvigionamenti di petrolio.

Le reazioni furono diverse nei Paesi in via di sviluppo non detentori di materie prime energetiche e in quelli industrializzati. I primi si trovarono in gravissime difficoltà e furono costretti a indebitarsi fortemente per pagare il petrolio che importavano, impoverendosi così ulteriormente.

Un esempio di miseria: *La Favela Jacqueline* a San Paolo

Essi non riuscirono a tradurre il bisogno di energia in una domanda effettiva sul mercato e cercarono così di far sentire la loro voce all'ONU attraverso rivendicazioni di vario tipo (tentativo di modificare l'ordine economico internazionale; richiesta ai Paesi sviluppati di concedere loro le risorse tecnologiche; richiesta di azzeramento dei debiti, quale indennizzo allo sfruttamento delle risorse durante l'epoca coloniale). A differenza che nei Paesi industrializzati – dove il mercato opera per ridurre la scarsità attraverso l'aumento dei prezzi, che riduce la domanda e stimola l'investimento in nuove fonti di approvvigionamento – nei Paesi in via di sviluppo privi di petrolio dove una parte degli abitanti viveva, e vive tuttora, ai limiti della sopravvivenza, l'aumento del prezzo del petrolio aggravò la scarsità, dal momento che non esisteva la domanda, presupposto necessario per avviare investimenti in grado di superare i problemi di scarsità.

Nei Paesi industrializzati per contro la politica di rialzo del greggio ebbe conseguenze molto meno gravi. Nel 1974 fu fondata dall'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico), l'IEA (International Energy Agency) con il compito di agevolare il coordinamento delle politiche energetiche dei Paesi membri al fine di garantire gli approvvigionamenti di petrolio. Si assistette inoltre a una rivalutazione dei giacimenti noti (resa possibile dal progresso dei metodi geologici e geofisici di prospezione degli idrocarburi e dagli sviluppi dell'ingegneria dei giacimenti petroliferi); al miglioramento delle tecniche di estrazione; alla ricerca di giacimenti in Paesi non OPEC. A riguardo un esempio è costituito dal petrolio del Mare del Nord, che iniziò ad essere estratto nel 1975 dalle compagnie petrolifere, stimolate dai prezzi elevati provocati dal rialzo decretato dall'OPEC.

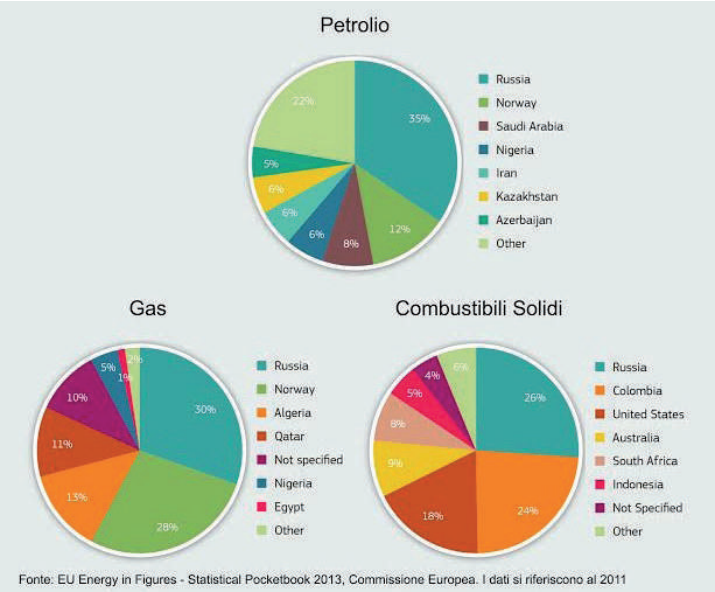
La piattaforma petrolifera galleggiante *Goliat* di Eni
al largo delle coste della Norvegia nel Mar di Barents

Tale iniziativa perfezionò le tecnologie e di conseguenza gli indici di sfruttamento dei giacimenti; rese praticabili luoghi che prima non lo erano, come l'Oceano artico, i mari al largo dell'Africa occidentale e del Brasile, del Canada, della Groenlandia, della Norvegia e della Siberia. Favorì inoltre la penetrazione nel mercato energetico mondiale del gas il cui prezzo era stato fino ad allora troppo elevato rispetto a quello del petrolio a causa dell'eccessivo costo di trasporto. Le spinte al suo utilizzo (investimenti in gasdotti, metaniere e impianti di liquefazione e rigassificazione) erano state pertanto piuttosto scarse prima del 1973. I progressi tecnologici, su impulso dell'alto costo del petrolio, consentirono una progressiva riduzione dei costi del gas fino al punto da determinare le condizioni favorevoli per il trasporto di esso anche a lunghe distanze. Contemporaneamente si sviluppò il trasporto del nuovo combustibile in forma liquida (unica possibilità di trasportarlo via mare). Ricordiamo che, come si è accennato più sopra, per rendere possibile questo trasporto il gas deve essere portato a temperature molto basse in appositi impianti di liquefazione collocati in prossimità dei porti di caricamento delle navi metaniere; di lì trasportato a destinazione e rigassificato in appositi impianti. Il settore del gas è un settore ad alta intensità di capitale quasi esclusivamente per la parte che riguarda le infrastrutture di trasporto a lunga e lunghissima distanza che costituiscono spesso oltre l'80% dei costi fissi.

Nave metaniera per il trasporto del gas

A favore del gas giocarono anche le preoccupazioni ambientali, dal momento che il suo utilizzo ha come conseguenza, a parità di energia prodotta, l'emissione di una quantità di CO2 inferiore a quella del petrolio e del carbone.

Attualmente il prezzo del petrolio oscilla intorno ai 60-70 dollari al barile. Tale prezzo non viene più stabilito dall'OPEC e pertanto esso è tornato alle regole del mercato. Le cause della riduzione del potere negoziale dell'OPEC sono da attribuirsi anzitutto ai i diversi interessi dei Paesi membri: un esempio in proposito è la guerra tra Iraq e Kuwait (1990) che mise in moto una guerra generale in Medio Oriente; e in secondo luogo al fatto che la percentuale di petrolio proveniente dai Paesi dell'OPEC è scesa a favore di quella dei Paesi non OPEC. L'Europa in particolare si rifornisce di petrolio, gas e carbone dalla Russia, dalla Norvegia e dagli Stati Uniti.



Le importazioni energetiche nell'Unione europea

In Italia il governo varò di fronte allo shock del 1973 un piano nazionale di austerity economica per il risparmio energetico che prevedeva cambiamenti con effetti immediati: il divieto di circolare in auto la domenica, la fine anticipata dei programmi televisivi e la riduzione dell'illuminazione stradale e commerciale. Oltre a tali provvedimenti, venne impostata anche una riforma energetica complessiva con la costruzione, da parte dell'ENEL, di centrali nucleari per limitare l'uso del greggio.

Cittadini bolognesi in bicicletta a seguito dello shock petrolifero del 1973

La crisi

Il problema del clima e delle sue alterazioni

I combustibili fossili sono responsabili dell'emissione nell'atmosfera dei cosiddetti gas a effetto serra (anidride carbonica, metano, protossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoro di zolfo) che sono trasparenti alla radiazione solare ma che trattengono sul pianeta la radiazione infrarossa. La maggior parte delle agenzie climatologiche mondiali, tra cui l'autorevole IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change), foro scientifico delle Nazioni Unite fondato nel 1988 con lo scopo di studiare il riscaldamento globale, concorda con il fatto che l'attività umana abbia provocato un aumento della temperatura di circa 1°C nel corso dell'ultimo secolo, e che, se non si perverrà a una drastica riduzione delle emissioni di CO2 nei prossimi decenni, le temperature globali potranno aumentare fino a 4°C entro il 2050 con conseguenti perdite di raccolto, malattie, inondazioni e spostamenti di popolazioni. Il cambiamento sarebbe particolarmente grave nei Paesi poveri e caldi.

L'innalzamento dei mari in un'immagine volutamente drammatizzata

Dall'inizio dell'Età industriale la concentrazione di CO2, il più importante gas a effetto serra, nell'atmosfera è passata da circa 280 a quasi 360 ppm (parti per milione). L'attuale concentrazione di anidride carbonica è la più alta che si sia mai verificata negli ultimi 420.000 anni.

Anche in passato la concentrazione di CO2 aveva subito forti variazioni, per esempio rapidi aumenti alla fine delle glaciazioni. Ma queste variazioni erano causate da fenomeni naturali, dovuti con ogni probabilità a intense attività vulcaniche. Mentre per gli ultimi due secoli risulta inconfutabile che l'incremento sia dovuto essenzialmente ad attività umane, in particolare all'uso dei combustibili fossili (fabbriche, autoveicoli, impianti di riscaldamento), in misura minore alla deforestazione e agli incendi.

Disastro idrogeologico in Valtellina causato dalle intense piogge del 1987

I serbatoi del carbonio sono l'atmosfera, gli oceani e la biomassa. Approssimativamente la metà della CO2 viene assorbita dagli oceani e dalla fotosintesi delle piante, ma l'altra metà rimane nell'atmosfera per molti decenni.

I futuri scenari climatici sono molti difficili da prevedere perché le variabili in gioco sono numerosissime e in continua evoluzione. D'altronde, anche in presenza di un modello di scenario climatico perfetto, le proiezioni relative al clima del futuro dipenderebbero da ipotesi incerte, quali l'incremento della popolazione e del consumo delle risorse fossili, nonché lo sviluppo economico.

In questa situazione di incertezza un quadro di possibili scenari per i prossimi ottant'anni prevede secondo l'IPCC che la temperatura media della terra potrebbe aumentare per motivi legati alle attività umane, da un minimo di 2° C a un massimo

di 5,7° C. Gli innalzamenti di temperatura potranno avere come risultato un ampliamento delle zone soggette a malattie tropicali. Il livello del mare potrebbe aumentare da un minimo di circa 20 cm a un massimo di circa 80 cm a causa della dilatazione termica dell'acqua e al maggior apporto di acque di fusione dei ghiacci. Si avrà come conseguenza una maggior fragilità dei litorali, la salinizzazione dei delta dei fiumi e l'allagamento delle terre litoranee. Infine si prevede una maggior frequenza degli eventi meteorologici estremi, quali piogge intense e periodi di siccità, con conseguente risvolto negativo sull'ampiezza e la diversità degli spazi naturali, e scarsità di acqua.

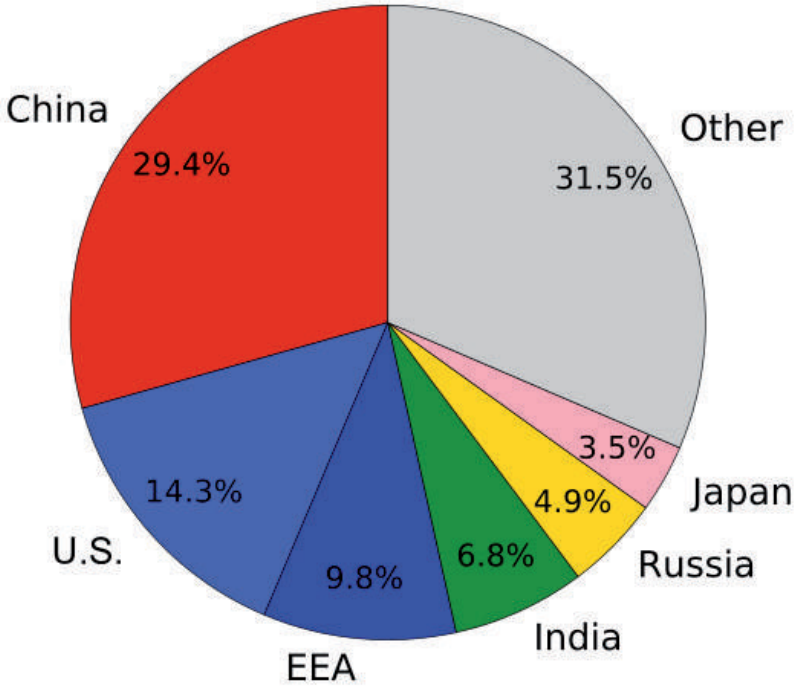
Terra inaridita in Mauritania per mancanza di pioggia

Sulla base di questi scenari l'IPCC ha indicato come principale via da percorrere per ridurre le conseguenze negative del cambiamento climatico la diminuzione dell'uso dei combustibili fossili al fine di contenere almeno del 50% le emissioni di CO2 e consentire così il loro assorbimento nell'atmosfera, tenuto conto che la stabilizzazione delle emissioni attuali non è sufficiente, dato lo squilibrio tra la rapidità dei tempi delle emissioni e la lentezza dei tempi dell'assorbimento.

Le istituzioni internazionali

I governi e le associazioni internazionali cominciarono a occuparsi concretamente del cambiamento climatico nel 1972 con la nascita dell'UNEP (United Nations Environment Programme) che nel 1980, durante la prima conferenza del WMO (World Meteorological Organization), rese noti i primi dati sull'effetto serra, che furono tuttavia considerati troppo generici. Nel 1985 UNEP e WMO chiesero fondi per poter

continuare le ricerche e nel 1988 chiesero e ottennero l'istituzione dell'IPCC con il compito di analizzare le informazioni scientifiche disponibili. Da allora l'importanza del cambiamento climatico venne internazionalmente riconosciuta.



Produzione globale di emissioni di CO2 nel mondo (Parigi 2015)

Seguirono varie conferenze per valutare la gravità del fenomeno e discutere gli interventi da adottare per ridurre le emissioni di CO2. Si ricordano qui quelle di Rio de Janeiro (1992), Berlino (1995), Ginevra (1996) e Kyoto (1997). In particolare nel corso della conferenza tenutasi nella città giapponese venne redatto il *Protocollo di Kyoto*, approvato dalla quasi totalità dei Paesi ed entrato in vigore nel 2005, che prevedeva l'obbligo di contenere le emissioni di CO2 entro il 2012 riportandole ai livelli del 1990. Gli Stati Uniti non lo firmarono e scelsero di agire per proprio conto a livello statale. Il protocollo è stato a lungo discusso e parecchie nazioni, come per esempio la Russia, hanno atteso vari anni prima di firmarlo.

Il suo limite è stata la mancanza di capacità di riflettere la natura della questione e di mettere di conseguenza a fuoco che il cambiamento climatico è dovuto a un problema cumulativo a lungo termine. L'entità del riscaldamento del pianeta non si determina infatti sulla base di quanta CO2 si emette in un dato anno, ma in funzione dell'accumulo di CO2 nell'atmosfera nel corso del tempo. L'operazione intesa a ridurre le emissioni di anidride carbonica può quindi svolgersi nel tempo.

Manifestazione a Durban (Sudafrica) nel 2011 a seguito della conferenza sul clima

Nel 2008 l'Unione Europea approvò la direttiva che prevedeva entro il 2020 un taglio del 20% delle emissioni di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990; un aumento pari al 20% della percentuale del fabbisogno energetico ricavato da fonti rinnovabili; il raggiungimento di un miglioramento del 20% nell'efficienza energetica.

Alla Conferenza di Copenaghen del 2009 i Paesi riuniti si limitarono ad accordarsi sull'obiettivo generico di contenere entro i 2° C l'aumento della temperatura media planetaria e sull'impegno finanziario verso i Paesi poveri (30 miliardi di dollari per il triennio 2010-2012 e 100 miliardi all'anno dal 2020 in poi).

Nel 2011 alla Conferenza di Durban fu ridiscusso il problema delle emissioni di CO2 e si arrivò alla decisione di raggiungere entro il 2015 un accordo globale in grado di impegnare tutti i Paesi ad adottare un insieme di norme legalmente vincolanti dopo il 2020. Si creò inoltre un fondo (stabilito a Copenaghen) per aiutare i Paesi in via di sviluppo ad adattarsi ai cambiamenti climatici.

La Conferenza sul clima di Doha (Qatar)

Con la Conferenza di Doha (2012) l'estensione del protocollo di Kyoto venne prolungata dal 2012 al 2020, con ulteriori obiettivi di taglio delle emissioni serra. Fu inoltre stabilito l'obiettivo di raggiungere entro il 2015 un accordo globale in grado di impegnare tutti i Paesi ad adottare un insieme di norme vincolanti dopo il 2020. Purtroppo questi obiettivi non hanno avuto un'accoglienza adeguata: il Canada, per esempio, si è ritirato dal Protocollo, mentre Giappone e Russia non hanno assunto alcun impegno vincolante. Tenendo conto che gli Stati Uniti non hanno mai ratificato Kyoto, e che Cina, India e Brasile sono considerate nazioni in via di sviluppo dallo stesso Protocollo, e sono formalmente senza obblighi di riduzione delle emissioni, si può capire chi afferma che ci si trova nella paradossale situazione in cui i vincoli riguardano ormai gli outsider dell'economia mondiale, responsabili solo del 15% dei gas serra globali.

Alla Conferenza di Varsavia del 2013 erano ancora sul tappeto le decisioni da adottare per dare ulteriore applicazione al Protocollo di Kyoto.

I 17 obiettivi elaborati dalle Nazioni Unite per un mondo sostenibile

Nell'agosto 2015 le Nazioni Unite hanno creato e promosso i "17 SDG" (Sustainable Development Goals) validi per il periodo 2015-2030. Tra essi, quello di incrementare l'energia da fonti rinnovabili e allargarne l'accessibilità.

Infine il testo della Conferenza di Parigi del 2016 ha previsto l'obiettivo di raggiungere un rialzo della temperatura inferiore ai 2° C al di sopra del livello precedente la Rivoluzione industriale e un calo delle emissioni di CO2 prima del 2020. Europa, Cina, India e Stati Uniti si sono impegnati a ridurre le emissioni. È previsto un processo di revisione degli obiettivi ogni cinque anni. I Paesi industrializzati erogheranno 100 miliardi all'anno dal 2020 per diffondere le tecnologie atte a ridurre le emissioni di anidride carbonica. Viene inoltre avviato un sistema di rimborsi ai Paesi più vulnerabili geograficamente.

Incidenti e disastri ambientali

Petroliere, gasdotti, oleodotti, guerre

Alle conseguenze negative derivanti dall'immissione di anidride carbonica nell'atmosfera, si aggiungono i danni alla salute umana causati dalle emissioni di gas cancerogeni contenenti piombo, ossido di carbonio e ossidi di azoto.

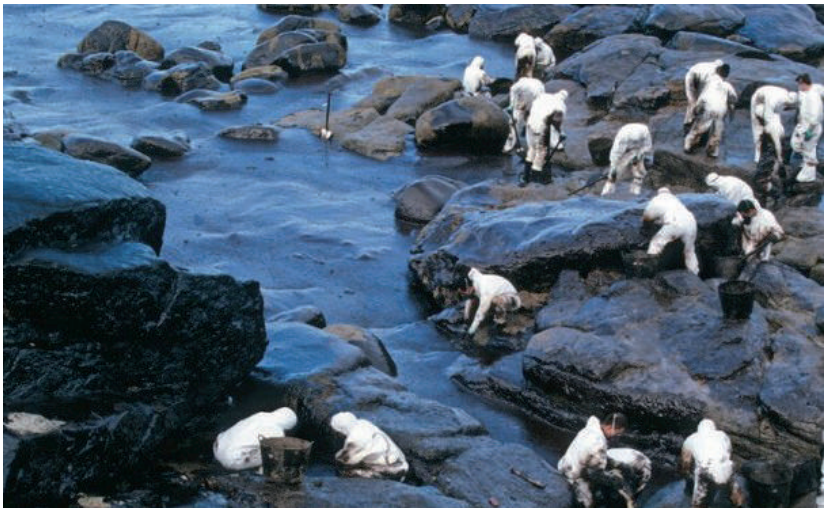
Infine esistono i rischi di incidenti o disastri, con vittime immediate e dispersioni di sostanze tossiche ad effetto differito, delle quali è difficile misurare la concentrazione a distanza.

Nel 1978 in Spagna esplosero serbatoi di propilene che causarono la morte di 216 persone e ne ferirono quasi altrettante. Nel 1981 a Tacoa in Venezuela l'esplosione di un complesso di serbatoi di petrolio causò 145 morti e 1000 feriti. A San Paolo in Brasile vi fu nel 1984 l'esplosione di un oleodotto che uccise 508 persone.

Disastro della petroliera *Amoco Cadiz*

A tali incidenti vanno aggiunti i disastri causati all'ambiente dal rilascio di grandi quantità di petrolio dalle navi petroliere con gravissimi danni alla fauna e alla flora marina e con elevati costi per la bonifica dell'ambiente inquinato, che richiede tecnologie avanzatissime e che può durare anni e anni. Tra i maggiori disastri marini si annoverano quelli della nave liberiana *Amoco Cadiz* noleggiata dalla compagnia statunitense

Amoco, filiale della *Standard Oil* del 1978 al largo delle coste bretoni, con una perdita di 223.000 tonnellate di greggio; della pompa petrolifera messicana Ixtoc I nel Golfo del Messico del 1979-1980 con la perdita di 450-480.000 tonnellate di greggio; della piattaforma petrolifera semisommergibile di perforazione *Deepwater Horizon* di proprietà della società di servizi multinazionale *Transocean*, in attività nel Golfo del Messico per conto della compagnia inglese *British Petroleum*, che nel 2010 causò la dispersione nell'Atlantico di 414.000-1.186.000 tonnellate di greggio.



Donne e uomini al lavoro dopo la catastrofe della petroliera *Prestige*, battente bandiera delle Bahamas, che nel 2002 davanti le coste spagnole della Galizia ha sversato in mare un totale di 63mila tonnellate di petrolio

A questi disastri marini si aggiungono quelli terresti dovuti all'incendio dei pozzi petroliferi del Kuwait durante la Guerra del Golfo (Golfo Persico) del 1991 con la perdita di circa 1.000.000 tonnellate di greggio e quello della Valle Fergana (Uzbekistan) del 1992 con la perdita di 285.000 tonnellate di greggio.

Anche per il gas il rischio di incidenti esiste in forma grave. Nel 1984 a San Juanito (Messico) esplosero diversi serbatoi di gas liquido che causarono la morte sul colpo di 550 persone, il ferimento di 7.000 e l'evacuazione di 300.000. Nessun rilevamento venne eseguito per misurare l'esposizione della popolazione alle sostanze cancerogene sprigionate nella combustione incontrollata di milioni di metri cubi di gas, insieme a metalli, vernici, ecc. Né alcuna valutazione esiste delle morti differite.

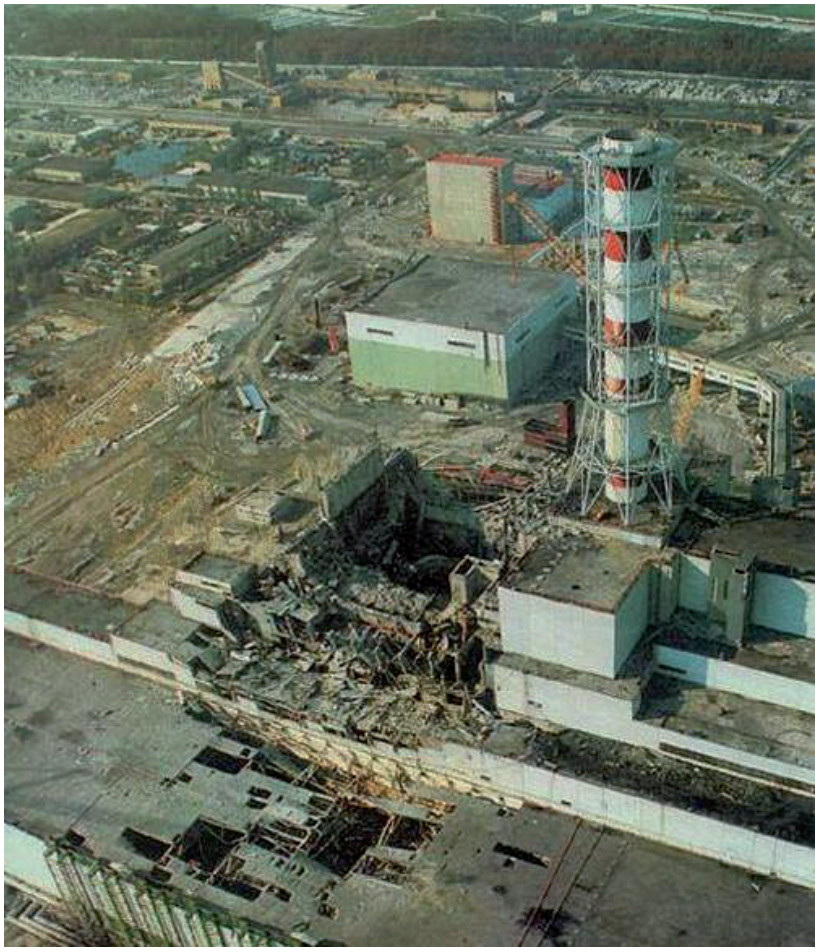
Nel 2009 a Viareggio il deragliamento di un convoglio ferroviario trasportante gas di petrolio liquefatto causò l'esplosione di una delle quattordici cisterne. Vi furono 32 morti e 17 feriti ustionati gravi. Diverse palazzine adiacenti alla stazione di Viareggio crollarono.

Il disastro di Viareggio (2009)

Nel 2010 a Middletown (Stati Uniti) una centrale elettrica a gas esplose causando 5 morti e 12 feriti. L'onda d'urto fece tremare una città a 15 km di distanza e l'esplosione fu avvertita fino a 50 km.

Le centrali nucleari

Quanto alle centrali elettronucleari, già nel 1957 avvenne il primo incidente a Windscale in Inghilterra, mentre il secondo accadde nel 1975 a Browns Ferry negli Stati Uniti. Più grave dal punto di vista tecnico l'incidente di Three Mile Island, negli Stati Uniti, del 1979, che tuttavia non procurò danni alla popolazione. Gravissimo fu l'incidente di Cernobyl' (1986) in Ucraina (ex Unione Sovietica) da imputarsi a scelte errate compiute durante un test di sicurezza, che causò la morte immediata di 32 persone e l'irradiazione acuta di altre 300, mentre l'entità dei danni futuri resta di difficile valutazione.



Il disastro di Cernobyl'

Esso ha confermato definitivamente la sovranazionalità delle questioni ambientali e ha pertanto contribuito a rafforzare l'attenzione nei confronti di esse. E infine l'incidente di Fukushima Daiichi (2011) in Giappone avvenuto a seguito del terremoto e maremoto del Tōhoku, che allagarono i gruppi elettrogeni di sicurezza posti ad una quota di pochi metri sul livello del mare; l'allagamento causò l'interruzione della corrente elettrica e il blocco dei principali sistemi di raffreddamento in tre reattori con fuoriuscita di materiale radioattivo.

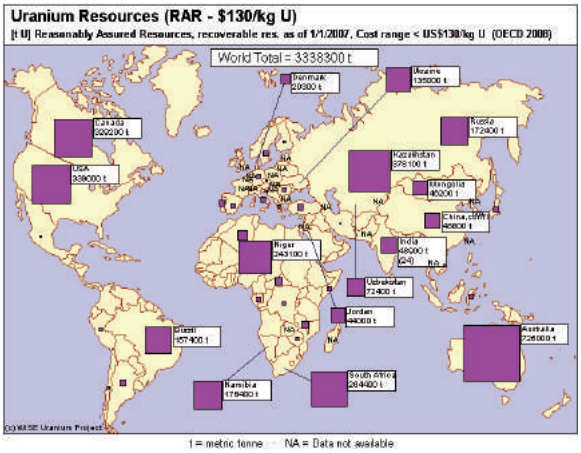
Questi incidenti agli impianti e il pericolo delle scorie radioattive, di cui si è detto più sopra, hanno dato luogo a una preoccupazione diffusa e crescente che ha portato in tutto il mondo a una fase di ripensamento nei confronti di questa risorsa. A partire dall'inizio del XXI secolo tuttavia si è assistito a un'inversione di tendenza più o meno forte, sia riguardo alle decisioni di costruire nuove centrali sia riguardo alla loro progettazione e pianificazione, sia infine riguardo alla loro disattivazione o smantellamento.

Il disastro di Fukushima Daiichi

A dicembre 2011 si contano sulla terra 435 reattori nucleari in funzione, a cui se ne aggiungono 63 in costruzione, 154 in progettazione.

La produzione mondiale di energia elettrica di origine nucleare è pari a circa il 17% dell'energia elettrica totale utilizzata, al 23% circa nei Paesi dell'OCSE e al 30% circa nell'Unione Europea, dove si attesta poco al di sotto del carbone.

Nel 2010 l'IAEA (International Atomic Energy Agency), fondata il 29 luglio 1957, con lo scopo di promuovere l'utilizzo pacifico dell'energia nucleare e di impedirne l'utilizzo per scopi militari, ha previsto per il futuro dell'energia nucleare nel mondo fino al 2050 due scenari, uno minimo, fondato sull'attuale situazione, e l'altro massimo, fondato sulla previsione di una ripresa economica e sull'imposizione di una normativa più severa per le emissioni di gas da combustibili fossili. In entrambi i casi la produzione di energia elettrica è prevista aumentare, e con essa quella di origine nucleare.



Riserve di uranio nel mondo

Il caso italiano

La produzione di energia nucleare in Italia ebbe un buon decollo nel 1963, ma fu fermata per motivi di sicurezza nel 1990 a seguito del referendum del 1987 indetto dopo l'incidente Černobyl'.

Il primo impianto elettronucleare italiano venne realizzato a Latina nel 1963; esso rappresentava l'esemplare più potente d'Europa. Otto mesi più tardi fu approntato quello di Garigliano a Sessa Aurunca (Caserta) mentre tra il 1961 e il 1964 venne costruito quello di Trino (Vercelli) intestato a Enrico Fermi, che al momento della sua entrata in funzione era l'impianto elettronucleare più potente del mondo.

La centrale elettronucleare di Trino costruita tra il 1961 e il 1964

L'energia elettrica prodotta da queste tre centrali era pari al 3-4% circa del fabbisogno italiano.

Nel 1970 cominciò l'edificazione della quarta centrale, quella di Caorso (Piacenza), la cui messa in funzione venne ritardata a causa della decisione di aggiungere alcune precauzioni a seguito dell'incidente di Three Mile Island del 1979, che fece nascere gravi timori riguardo alla sicurezza delle centrali nucleari.

Nel 1982 la centrale di Sessa Aurunca dovette essere fermata per un guasto e, a seguito di valutazioni sull'antieconomicità delle riparazioni, venne definitivamente spenta. Fu inoltre chiuso il cantiere per la costruzione della centrale di Montalto di Castro la cui area, sfruttando le prese per l'acqua a mare già realizzate, venne poi riutilizzata per la realizzazione dell'impianto a policombustibile Alessandro Volta.

Nel periodo di attività antecedente il 1987, le centrali elettronucleari italiane hanno prodotto scorie radioattive che dall'ottobre 2011, si trovavano per il 98% negli impianti di ritrattamento di La Hague in Francia (da dove verranno rese riprocessate nel 2025) e di BNLF a Sellafield in Inghilterra (che sono state restituite e sono in procinto di venir inviate al centro di Bohunice in Slovacchia).

Treno adibito a trasporto di scorie nucleari

La mancata produzione di energia elettronucleare, che nel 1986 ebbe un picco pari al 4,5% del totale, ma che negli anni precedenti si attestava generalmente intorno al 3-4%, fu compensata, dopo la chiusura delle centrali, dall'aumento dell'utilizzo di combustibili fossili, in particolare gas, e da un aumento delle importazioni di energia elettronucleare dalla Svizzera, dalla Francia e dalla Slovenia.

Resta ora da dire delle cause che hanno spinto in direzione della scelta antinucleare. Esse sono molteplici e possono essere riassunte nel fatto che gran parte del territorio italiano è a rischio sismico elevato e molte coste sono a rischio di sommersione e pertanto il pericolo di incidenti è maggiore che in altri Paesi; che i problemi attualmente esistenti con i rifiuti, soprattutto in certe zone del Paese, non lasciano molta speranza a un corretto trattamento delle scorie nucleari; che la presenza di un intreccio tra alcune imprese, alcuni rappresentanti politici e alcune organizzazioni di dubbia trasparenza non garantiscono costi e sicurezza adeguati; che gli impianti possano essere oggetto di azioni criminali.

Conseguenza della politica adottata dall'Italia nei confronti dell'energia nucleare è stato il perdurare di centrali a carbone e a metano che oggi sono numerose sul territorio.

Centrale termoelettrica a carbone di Torrevaldiga

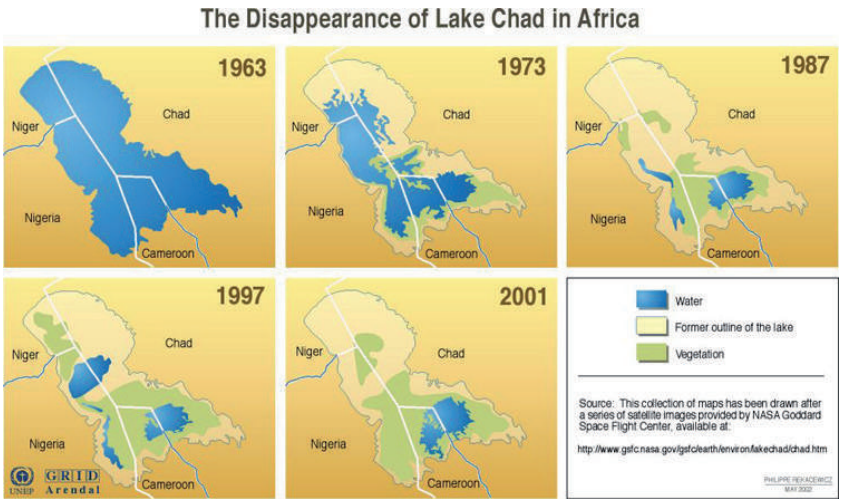
Tabella delle rese energetiche

legno	1 kg = 3.600 calorie
carbon fossile	1 kg = 6.000-9.000 calorie
petrolio	1 kg = 10.000 calorie
gas naturale	1 kg = 8.000 calorie
uranio	1 kg = 20 miliardi di calorie

Nuove prospettive

Come si è visto, per tutta l'Era preindustriale le società umane hanno utilizzato, e ancora oggi utilizzano nelle zone più povere del pianeta, prevalentemente energia biologica per compiere lavoro: quella del proprio corpo, o quella del corpo di un animale da tiro, alimentati, l'uno e l'altro, dal cibo. Per scaldarsi, cuocere e lavorare i metalli, gli uomini hanno usato, e usano tuttora in molte parti della Terra, energia di origine vegetale, fornita dal legno. Per macinare e attivare il movimento necessario alle manifatture (tessili in particolare) essi sono ricorsi all'energia idrica e a quella eolica (i mulini ad acqua e a vento).

Lo sfruttamento dell'energia contenuta nei combustibili fossili (carbone prima, petrolio poi, e infine gas naturale) ha invece contraddistinto, a partire dalla seconda metà del Settecento con la Rivoluzione Industriale, il modo di produrre delle società occidentali. Ai combustibili fossili si è poi aggiunta a partire dalla fine del XIX secolo l'acqua per la produzione di energia elettrica e infine dagli anni Cinquanta del XX secolo, l'uranio, anch'esso per la produzione di energia elettrica. Bassi sono rimasti invece gli usi dell'energia solare, eolica e geotermica, sia per problemi tecnici, sia soprattutto per scelte economiche e politiche.



Il progressivo prosciugamento del Lago Chad, conseguenza del cambiamento climatico

Ne è conseguito, e anche questo lo si è visto, che, con la crescita economica, lo sfruttamento dei fossili, e più in particolare del petrolio, è diventato di gran lunga prevalente. Risultato di questa prevalenza è stata, ed è tutt'ora, una difficile situazione consistente nell'impossibilità di sopperire al crescente fabbisogno energetico senza recare danni all'ambiente e causare forti ingiustizie e tensioni sociali.

Oggi il consumo di energia nel mondo è pari a circa 40.000 Calorie pro capite al giorno, corrispondenti a un totale di 9 miliardi di tep (tonnellate equivalenti di petrolio); esso raggiunge le 110.000 Calorie pro capite al giorno nei Paesi industrializzati (che comprendono circa il 25% della popolazione mondiale), mentre è quasi dieci volte più basso nei Paesi in via di sviluppo, dove in parecchi casi le popolazioni non riescono neppure ad avere accesso al mercato dell'energia.

Miseria tra i rifiuti in Ghana

Miseria e fame nel mondo occidentale
Charlie Chaplin in *La febbre dell'oro* (1925)

Si tenga inoltre conto che anche nei Paesi industrializzati una parte della popolazione consuma una quantità di energia molto inferiore alla media. Tale parte di popolazione è cresciuta negli ultimi anni in alcuni Paesi, tra cui l'Italia.

Dal momento che la differenza nei consumi energetici è uno degli indicatori principali del divario tra Paesi ricchi e Paesi poveri, ne consegue che, tra gli obiettivi intesi ad annullare, o quanto meno a ridurre questa differenza, non può mancare quello di un aumento delle disponibilità energetiche nei Paesi in via di sviluppo, che comprendono all'incirca il 75% della popolazione mondiale. Tale incremento implica tuttavia la consapevolezza dei danni ambientali che ogni aumento dell'uso globale delle risorse energetiche fossili e di quella nucleare comporta. Pertanto le decisioni relative agli investimenti necessari per incrementare la crescita economica dei Paesi poveri si presentano in maniera estremamente complessa e problematica.

Rimane in ogni caso fermo il fatto che l'attuale quadro energetico, in cui le economie sviluppate di mercato consumano il 70% dell'energia originata dai combustibili fossili, pur costituendo la loro popolazione circa il 25% di quella mondiale, non è adatto a porsi come fondamento per uno sviluppo al quale possa partecipare, senza danni per l'ambiente, l'umanità nel suo complesso.

PER SAPERNE DI PIÙ

Aumento della povertà in Italia

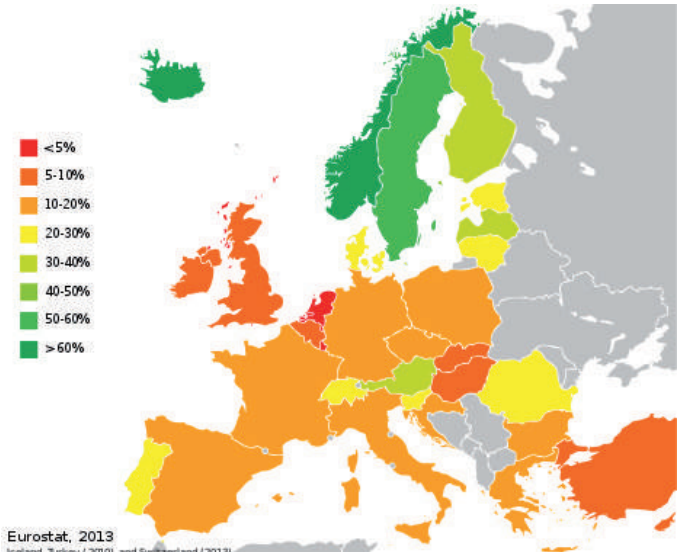
Negli ultimi anni in Italia si è pesantemente aggravato il divario tra ricchi e poveri. Secondo il rapporto dell'Ocse *Growing Unequal*, che analizza la distribuzione del reddito e la povertà all'interno dei 30 Paesi che compongono l'organizzazione, l'Italia è infatti al sesto posto per il gap tra le classi sociali, dopo Messico, Turchia, Portogallo, Stati Uniti e Polonia. Le differenze, dimostra un'indagine Coldiretti, emergono anche a tavola. Crescono infatti da un lato gli acquisti di prodotti a basso prezzo e dall'altro di alta qualità.

Rosario Amato, "La Repubblica", ottobre 2008.

Lo sviluppo sostenibile e le fonti energetiche rinnovabili

Occorre pertanto avviare il tentativo di perseguire la strada dello sviluppo sostenibile che consiste nell'integrare economia (attraverso il perseguimento dell'obiettivo sviluppo), giustizia sociale (attraverso il perseguimento dell'obiettivo per tutti), e ambiente (attraverso il perseguimento dell'obiettivo di uno sviluppo che continui in futuro).

Si può allora provare, sempre restando nel sistema energetico attuale, a migliorare l'efficienza energetica, cioè a risparmiare energia, evitando la dispersione, sostituendo ai trasporti su strada quelli su rotaia, costruendo edifici a basso consumo energetico e favorendo il riciclaggio, attività fondamentale quest'ultima perché consente di non produrre e non inquinare.



Percentuale dell'utilizzo delle energie rinnovabili in Europa

I mezzi tecnici che permettono di accrescere l'efficienza energetica, riducendo i consumi, esistono già. L'efficienza energetica però non dipende semplicemente da fattori tecnici, ma da tutta una serie di fattori economici, politici, sociali e culturali che devono essere in parte modificati al fine di rendere percorribile la strada della diminuzione dei consumi. Che tuttavia non è sufficiente.

Al miglioramento dell'efficienza energetica va affiancato un nuovo modo di produrre energia. In altri termini va avviata, quanto meno parzialmente, la costruzione di un nuovo sistema energetico, basato sull'uso di fonti non inquinanti, rinnovabili e largamente disponibili: energia idrica, eolica, geotermica, solare e da biomassa.

Oggi solo il 10% dell'energia consumata annualmente su scala mondiale viene fornita da fonti rinnovabili. Si tratta di una parte soltanto del potenziale, che può essere messo a profitto molto di più e molto più efficacemente.

Particolare rilievo riveste in proposito l'energia idroelettrica che in Italia è utilizzata anche sotto forma di piccole centrali, note con il termine di minielettrici, che oltre a sfruttare l'energia idroelettrica, sono caratterizzate dal fatto di avere una potenza installata ridotta con un conseguente utilizzo di strutture di dimensioni molto minori rispetto a una diga normale. Esse richiedono uno studio di fattibilità molto accurato che tenga conto del contesto all'interno del quale si intende costruirle.

L'elettricità gode inoltre di una grande popolarità nel settore automobilistico, tanto che in tutto il mondo le maggiori case automobilistiche sono impegnate nello studio e nella realizzazione di vetture alimentate da energia elettrica.

Oltre all'acqua attualmente già impiegata per la produzione di energia elettrica, un'altra fonte di energia rinnovabile, anzi praticamente inesauribile, è quella eolica.

Pale per la produzione di energia eolica

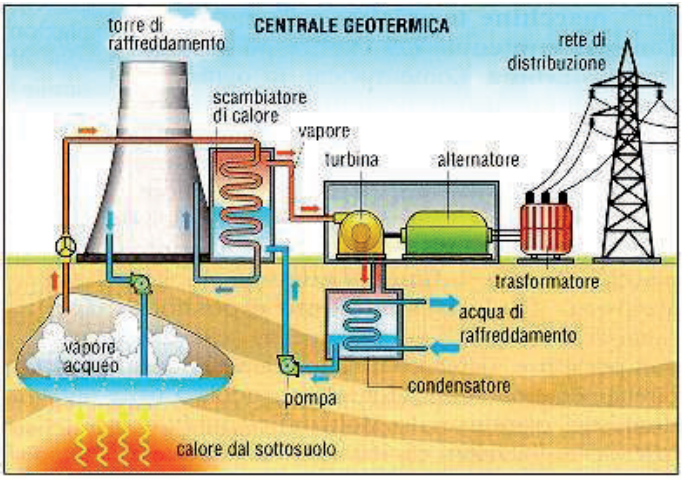
L'utilizzo su larga scala di quest'energia è però reso problematico dall'irregolarità della forza e della direzione dei venti, e inoltre dalle difficoltà relative all'accumulazione di essa. I Paesi e le regioni più adatte allo sfruttamento di questo tipo di energia sono quelle dove il vento soffia a velocità e direzione costanti: tra essi la Danimarca, l'Olanda, la California e la Patagonia. La ricerca tecnologica per rendere vantaggiosa l'energia eolica è indirizzata agli studi su nuovi materiali e alla sperimentazione di forme di controllo sempre più avanzate. La percentuale di energia eolica oggi prodotta nel mondo è irrilevante. Irrilevante invece non è, per quanto attiene il nostro Paese, il grave danno paesaggistico che le tecnologie invasive e devastanti connesse con la costruzione dei moderni "mulini a vento" – più adatti alle grandi pianure caratterizzate da ampi spazi e da venti costanti – apportano ai brevi confini dei crinali dei paesaggi italiani, dei borghi e delle opere architettoniche.

Un esempio di cattiva destinazione delle pale eoliche: la devastazione sui crinali

Alla costruzione selvaggia di questi manufatti installati negli ultimi anni senza alcun piano paesaggistico e in mancanza di una legge quadro, si è opposta e si oppone con fermezza e rigore, come si vedrà anche più avanti, l'associazione Italia Nostra nata nel 1955 e avente per scopo la conservazione del patrimonio culturale.

Non priva di importanza è anche l'energia geotermica (generata dal calore di magmi che a 150-300 metri di profondità trasformano l'acqua in vapore) che viene utilizzata per la produzione di elettricità e che però può essere anche utilizzata per il riscaldamento di edifici, serre, ecc… Il costo degli impianti per ora è alto.

Soffioni boraciferi a Larderello



Schema di funzionamento di una centrale geotermica

All'acqua, al vento e ai magmi sotterranei possiamo aggiungere l'energia proveniente dalla biomassa, definita dalla Direttiva Europea 2009/28/CE "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani". Particolarmente vantaggioso è l'utilizzo di alcune piante della famiglia delle euforbiacee, del miscanto e del pioppo, dei rifiuti organici cittadini e dei residui della lavorazione di alcune piante (canna comune, paglia di frumento e riso, in particolare), e infine del legno. L'impiego del legno per la produzione di energia comporta una serie di problemi. Il primo dei quali è costituito dalla riduzione della superficie delle foreste.

Taglio di alberi per la produzione di energia termica

Si ricorda a riguardo che la conservazione del patrimonio forestale può essere garantita soltanto dall'adozione di adeguate pratiche di gestione: tra esse il mantenimento dei tassi di utilizzazione al di sotto dei tassi di ricostituzione naturale e gli interventi tecnologici in grado di sostituire i processi naturali (per esempio il rimboschimento artificiale). Quando queste pratiche non sono rispettate la foresta arretra dando luogo a una serie di conseguenze negative, le più note delle quali sono l'erosione del suolo, l'accelerazione dell'effetto serra e la desertificazione. Un altro problema è costituito dall'uso dei biocombustibili per alimentare i motori, ossia il biodiesel, ottenuto da olii vegetali e grassi animali, e l'etanolo, prodotto mediante un processo di fermentazione di canna da zucchero e di cereali. A riguardo alcuni economisti ritengono che la produzione di questi biocombustibili possa avere effetti negativi per la fame nel mondo, perché sottrae superficie alla coltivazione di prodotti alimentari che formano la base della sussistenza dei Paesi in via di sviluppo.

L'energia solare
Alexandre Dang, *Dancing Solar Flowers*, installazione tenutasi
dal 20 aprile al 28 agosto 2013 al Musée des Beaux-Arts di Tournai (Belgio)

Infine abbiamo l'energia solare diretta. Il sole, un gigantesco reattore nucleare a fusione, ha un immenso potenziale, ancora pochissimo sfruttato, che con le moderne tecnologie può essere oggi efficacemente impiegato per produrre energia. L'energia termica delle radiazioni solari può essere trasformata in energia elettrica tramite specchi parabolici che concentrano il calore. Il sistema industriale più avanzato in questo senso è stato realizzato in California dove è in funzione una rete di nove centrali termoelettriche a energia solare. Si chiamano centrali SEGS (Solar Energy Generating System) e sono dotate di giganteschi specchi parabolici che, orientandosi automaticamente verso il sole grazie ad un sistema computerizzato, ne concentrano i raggi e, attraverso un tubo, riscaldano un circuito contenente acqua, la quale, bollendo, genera il vapore che alimenta la turbina.

Segs nel deserto Mojave negli Stati Uniti

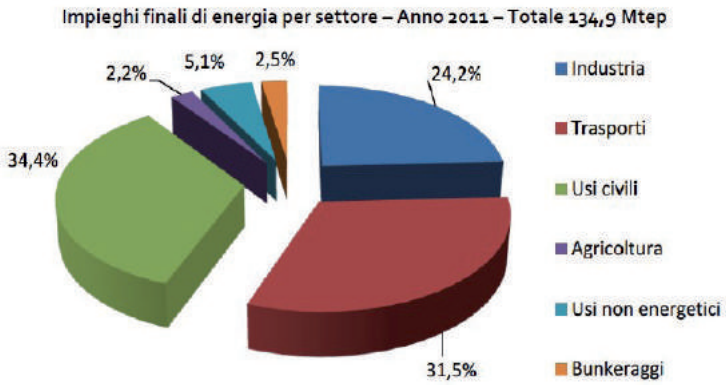
La realizzazione di tale impianto richiede tecnologie avanzatissime. Condizioni favorevoli a installazione di centrali a energia solare offrono i Paesi situati tra i 40° nord e i 40° sud di latitudine.

L'altro sistema per produrre elettricità attraverso la radiazione solare è il fotovoltaico che trasforma l'energia solare in energia di movimento degli elettrodi di materiali semiconduttori, quali il silicio o la pirite. Ha una resa del 7-10% e sta iniziando ad essere vantaggioso dal punto di vista economico.

Pannelli solari nel Bosco di Policoro: un uso non responsabile del suolo

Fattore decisivo, da cui dipende la possibilità di realizzare il nuovo sistema energetico, non sono tanto gli sviluppi tecnologici, quanto le scelte di politica energetica, attualmente influenzate dagli interessi legati all'uso dei combustibili fossili e dell'uranio. Ricordo in proposito che la spesa in ricerca destinata alla produzione di energia nucleare è assai più elevata di quella destinata alla produzione di energia derivante dal sole. Occorre quindi effettuare delle scelte e incentivare le tecnologie in grado di rendere competitive le fonti energetiche rinnovabili, non inquinanti e non pericolose. Se si stabiliscono norme anti-inquinamento, se si tassano i processi produttivi inquinanti e si incentivano o si detassano i non inquinanti, il nuovo sistema energetico può diventare realizzabile.

Il fattore decisivo resta comunque quello delle scelte di politica energetica. Attualmente le scelte continuano ad essere fortemente influenzate dagli interessi collegati all'uso dei combustibili fossili.



Fonte: Enea

Impieghi di energia per settore produttivo nel mondo

Le scelte politiche si rivelano essenziali anche alla luce del rischio che la tecnologia possa diventare strumento di dominio e non di liberazione, quando non viene utilizzata all'interno di forme di controllo democratiche. Un esempio a riguardo può essere la *rivoluzione verde* che negli anni Settanta del XX secolo suscitò molte speranze. Si trattava della produzione di cereali geneticamente modificati (OGM) con lo scopo di ottenere varietà finali più nutrienti, ossia più ricche di energia. Una volta ottenute in laboratorio, tali varietà furono diffuse in alcuni Paesi in via di sviluppo. Ma il successo fu ridotto dalla maggior debolezza dei cereali ad alta resa di fronte alle malattie e agli attacchi dei parassiti, e dalla conseguente necessità di utilizzare insetticidi costosi e tossici: prodotti tecnologici che hanno costretto i Paesi che avevano adottato il programma di produzione di cereali ad alta resa a stringere la loro dipendenza economica dai

Paesi industrializzati. Come si vede, e gli esempi potrebbero continuare, la tecnologia da sola è condizione necessaria, ma non sufficiente, per l'avvio di uno sviluppo sostenibile, che sottende invece un attento e costante intervento politico.

Il caso italiano

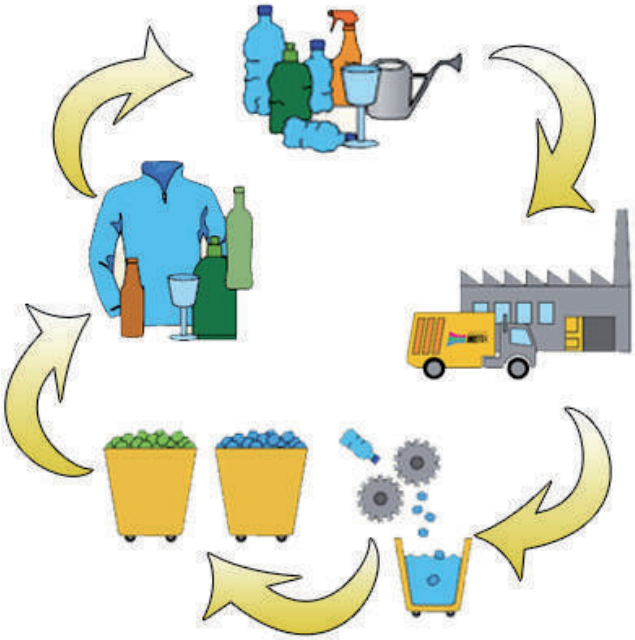
Un quadro più particolareggiato dell'attuale situazione relativa alle risorse energetiche rinnovabili e dei vantaggi/svantaggi che esse portano, può essere delineato analizzando la situazione italiana, tenuto conto del triplice obiettivo posto dallo sviluppo sostenibile, ossia, come si è visto più sopra, dell'integrazione fra economia, giustizia sociale e ambiente; e tenuto conto anche del fatto che il paesaggio italiano va salvaguardato con molta attenzione in quanto estremamente pregiato per la sua eccezionale storia artistica e culturale e però nello stesso tempo fragile e in parte compromesso, tanto da correre il rischio di venir facilmente deturpato e sconvolto.

Scempio del paesaggio dei calanchi di Atri (foto di Oreste Rutigliano)

Tuttavia, prima di entrare nel merito della tematica suddetta, ci pare opportuno sottolineare, in aggiunta a quanto detto sopra, che l'efficienza energetica in Italia ha ancora grandi potenzialità da espletare, tanto che secondo alcuni studiosi si potrebbe arrivare a ridurre, con le tecnologie esistenti, i consumi di combustibili fossili fino a circa il 50%. Si tratta dunque di un obiettivo fondamentale, da perseguire con fermezza e tenacia. Il governo e le istituzioni dovrebbero pertanto considerare le politiche di maggior efficienza energetica non come un costo, ma come un'opportunità e un investimento, alla luce dei vantaggi derivanti da minori incertezze di approvvigionamento dei com-

bustibili, minor debito estero, minor produzione di CO2, maggior competitività delle industrie virtuose capaci di immettere sul mercato prodotti di avanguardia, maggior occupazione, minori costi per i consumatori.

Tornando ora alle fonti energetiche rinnovabili, è utile tener presente che esse dovrebbero porsi come una scelta di democrazia, in grado di sostituire, o quanto meno di integrare, quelle fossili senza creare, a loro volta, oligopoli, o far ricadere i costi ambientali sulle popolazioni, o ancora degradare ambienti e paesaggi. Allo stato attuale questi obiettivi non sono stati pienamente raggiunti e alcune questioni sembrano, come vedremo, ancora in parte irrisolte. Permane di conseguenza la necessità sia di investire in ricerca sia di attuare scelte politiche accorte e avvedute. Se da un lato infatti la ricerca sta rendendo sempre più convenienti le fonti rinnovabili, dall'altro lato è necessario che essa sviluppi tecnologie eco-compatibili in grado di salvaguardare l'ambiente e il benessere di tutti.



Riciclaggio della plastica

Occorre inoltre che le decisioni relative alla politica energetica nei confronti delle risorse rinnovabili tengano conto del futuro dell'ambiente, della sopravvivenza del nostro patrimonio culturale e paesaggistico, della salute della popolazione, e non si lascino irretire da progetti apparentemente utili, ma in realtà dannosi sul lungo termine.

In proposito va considerato che gli incentivi (i più elevati d'Europa) che ricadono sulla costruzione di impianti a fonti rinnovabili possono produrre alla collettività più danni che benefici. Potrebbe pertanto rivelarsi opportuno ridurre i meccani-

smi premianti, che storicamente si sono spesso rivelati punto di avvio per operazioni speculative, e mettere in atto meccanismi economici di penalizzazione per gli impianti che non corrispondono alle direttive intese a realizzare uno sviluppo sostenibile. Ne consegue la necessità di un maggior controllo sull'uso corretto, efficace, compatibile, sostenibile e non puramente speculativo di tutte le fonti energetiche, e inoltre l'applicazione sollecita e risoluta delle procedure di VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) e di VAS (Valutazione di Impatto Strategica) per tutti gli impianti previsti.

Riguardo ai reattori nucleari, l'Italia ha già, come si è visto più sopra, optato per il loro smantellamento in quanto ritenuti troppo complessi, costosi e pericolosi perché li si possa calare dall'alto su un territorio denso e problematico come quello italiano, sia dal punto di vista idrogeologico e sismico sia da quello artistico-culturale.

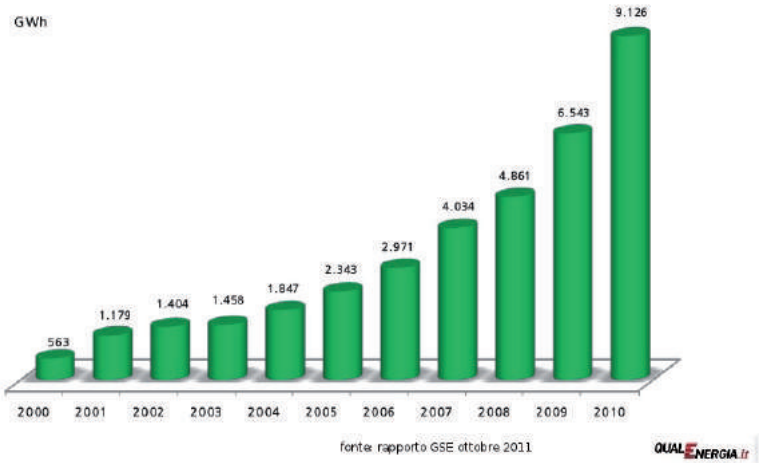
Quanto al petrolio e al gas, va tenuto presente che la ricerca che si sta effettuando sul suolo italiano (Lombardia ed Emilia e Romagna) e, soprattutto, nel Mare Adriatico è in contrasto con il trend europeo e mondiale orientato a ridurre le emissioni di CO2 nell'atmosfera.

Trivelle in Emilia e Romagna

Una piattaforma petrolifera in Adriatico

In particolare le trivellazioni petrolifere in Adriatico dovrebbero essere disincentivate, mentre attualmente sono incentivate dalle basse royalties che le imprese di trivellazione pagano allo Stato: il 10% sul gas e il 7% sul petrolio contro circa il 30-35% negli altri Paesi europei. Vige inoltre, nonostante la protesta di varie associazioni ambientaliste, l'autorizzazione a effettuare estrazione di petrolio e gas fino ad esaurimento dei giacimenti per le concessioni già attive anche al di sotto delle 12 miglia dalla costa. Questa scelta comporta gravi rischi per il mare in caso di incidente. È noto infatti che gli agenti dispersanti, cioè le sostanze chimiche utilizzate per disperdere gli idrocarburi fuoriusciti da una trivella o da una piattaforma petrolifera, facendoli precipitare sul fondale marino, consentono di nascondere la marea nera sulla superficie, mentre il greggio, nascosto alla vista, continua i suoi effetti letali in profondità. Il Mediterraneo è un mare chiuso tra i più inquinati, e pertanto va tutelato con norme restrittive per le trivellazioni.

Grande cautela richiede anche l'impiego dell'energia eolica (pale eoliche, fabbriche del vento) riguardo al quale il sistema italiano di incentivazione, peraltro applicato, come si è detto sopra, alla costruzione di tutti gli impianti da risorse rinnovabili, potrebbe non aver considerato a sufficienza il grave pericolo di progetti a carattere speculativo.



Produzione di energia elettrica da fonte eolica in Italia dal 2000 al 2010

Ne risulta il rischio che tali impianti possano sottrarsi alle necessarie analisi preventive dello Stato e delle regioni, e vengano approvati anche in aree ad alta vulnerabilità ambientale e paesaggistica, deturpando i territori nei quali vengono inseriti ed eccedendo talvolta la stessa capacità di distribuzione della rete elettrica. Si aggiunga che per la costruzione di tali impianti occorrono lavori che consumano una grande quantità di territorio (rete stradale e migliaia di autotreni per il trasporto di turbine, piloni e torri d'acciaio, e per la costruzione di basamenti in cemento), soffocano il turismo, determinano un abbassamento dei valori paesaggistici, distruggono l'equilibrio faunistico. Mentre per la successiva rimozione le norme non sono sufficientemente esplicite riguardo agli obblighi concernenti la restituzione di un ambiente non danneggiato.

Particolarmente attiva contro gli impianti eolici è, come si è accennato più sopra, l'associazione Italia Nostra la quale richiama l'attenzione sul fatto che la costruzione da parte delle lobby eoliche di impianti finalizzati a trarre profitti dagli alti incentivi predisposti dalla classe politica italiana, rischia di distruggere il valore paesaggistico del Mezzogiorno (dove le pale sono per lo più impiantate), facendone decadere le vocazioni turistiche e generando una dequalificazione del territorio che va al di là della stessa area di visibilità.

Pannelli solari in zona industriale: un'utile soluzione per la produzione di energia

Attenta vigilanza va rivolta dalla classe politica anche al settore della produzione di energia solare. Va detto anzitutto che l'energia solare, integrata con il metano per i periodi con irraggiamento insufficiente, potrebbe consentire una rapida riconversione delle vecchie centrali termoelettriche. La tecnologia solare, che di per sé è da sostenere, può tuttavia causare conflitti nell'uso del territorio, almeno con gli impianti attuali, laddove vengano incentivate coperture di terreni con vaste estensioni di pannelli solari fotovoltaici che alterano il paesaggio ed erodono preziosi suoli agricoli. Andrebbe pertanto, a parere delle associazioni ambientaliste, di scienziati, studiosi, naturalisti, agronomi, presa in considerazione l'eventualità di vietare l'uso di pannelli su qualsiasi superficie pregiata, nei centri storici, su terreni agricoli o di rilevanza paesaggistica, mentre si potrebbe estendere l'uso dei pannelli fotovoltaici integrati o sulle coperture degli edifici industriali e dei capannoni.

Si richiama in proposito l'attenzione sul fatto che in Italia meridionale la diffusione di grandi impianti da migliaia di ettari ha già compromesso l'ambiente e il paesaggio. Appare di conseguenza importante che la Commissione ambiente della Camera assuma decisioni politiche anche per questo settore, colpendo la speculazione con una rimodulazione degli incentivi, valorizzando gli impianti sulle pertinenze urbanizzate (tetti di capannoni e di edifici di zone industriali), ed escludendo dagli incentivi gli impianti da costruirsi sui terreni agricoli.

Pannelli solari posati sui tetti di capannoni: un esempio di buon uso

Va infine considerato che attualmente solo i progetti al di sopra dei 10MW di potenza devono essere sottoposti alla VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) della Regione e che pertanto è possibile evitare la verifica facendo apparire vari progetti al di sotto dei 10MW, che in realtà, sommati tra loro, andranno a costituire un unico impianto superiore ai 10MW.

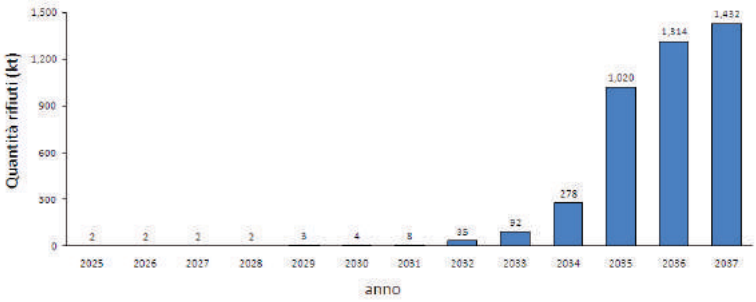
In Italia la crescita degli impianti fotovoltaici ha assunto negli ultimi anni un carattere esponenziale: essi contribuiscono oggi per circa il 7% del fabbisogno elettrico nazionale. Sebbene il solare fotovoltaico sia universalmente considerato una tecnologia verde, l'impatto ambientale degli oltre 100 milioni di moduli fotovoltaici installati in Italia e il rischio di una gestione sconsiderata dei rifiuti fotovoltaici rimane ancora questione non sufficientemente dibattuta, come ha più volte ricordato l'associazione Italia Nostra.

La gestione di un pannello fotovoltaico può essere suddivisa in tre fasi: costruzione, produzione di energia elettrica e smaltimento. Nel dibattito sulla sostenibilità ambientale del solare fotovoltaico, le fasi di costruzione e smaltimento vengono solitamente omesse, mentre i problemi maggiori hanno luogo soprattutto durante la costruzione e lo smaltimento.

Smaltimento o abbandono di pannelli solari?

La costruzione di pannelli fotovoltaici è molto complessa. Esistono due tecnologie principali: quella a silicio cristallino (prima generazione) che utilizza tale materiale semiconduttore per la generazione di corrente tramite effetto fotovoltaico (effetto fisico che viene sfruttato dai pannelli solari per produrre energia quando vengono colpiti dalla luce del sole) e quella a film sottile (seconda generazione) che impiega semiconduttori quali silicio amorfo, composti di rame, indio, selenio e gallio e tellururo di cadmio. In Italia, più del 90% dei pannelli installati è di prima generazione. Si prevede che questa tecnologia rimarrà dominante ancora per almeno un decennio. Ad essa ci riferiamo nelle nostre considerazioni.

La durata media di un modulo fotovoltaico è di circa 25 anni, trascorsi i quali si rendono necessarie sostituzione e smaltimento del pannello a fine vita. La quantità di rifiuti derivanti dai pannelli fotovoltaici a fine vita è proporzionale alla potenza fotovoltaica installata. A riguardo le più recenti stime scientifiche indicano circa 80 kg di rifiuti per ogni kilowatt di potenza fotovoltaica installata. Partendo da questa equivalenza e assumendo una durata di funzionamento dei pannelli di 25 anni, la quantità cumulata di rifiuti fotovoltaici che l'Italia si troverà a dover gestire nei prossimi anni si trova nel grafico sotto.



Quantità di rifiuti che l'Italia produrrà nei prossimi anni
(fonte https://www.ilpost.it/filippozuliani/2014/08/27/rifiuti-fotovoltaici/)

Siccome l'espansione della base installata di solare fotovoltaico in Italia si è avuta tra il 2010 e il 2012, ne consegue che il problema del riciclo dei pannelli fotovoltaici si porrà a partire dal 2035, quando il nostro Paese si troverà quasi 1.5 milioni di tonnellate di rifiuti fotovoltaici a fine vita.

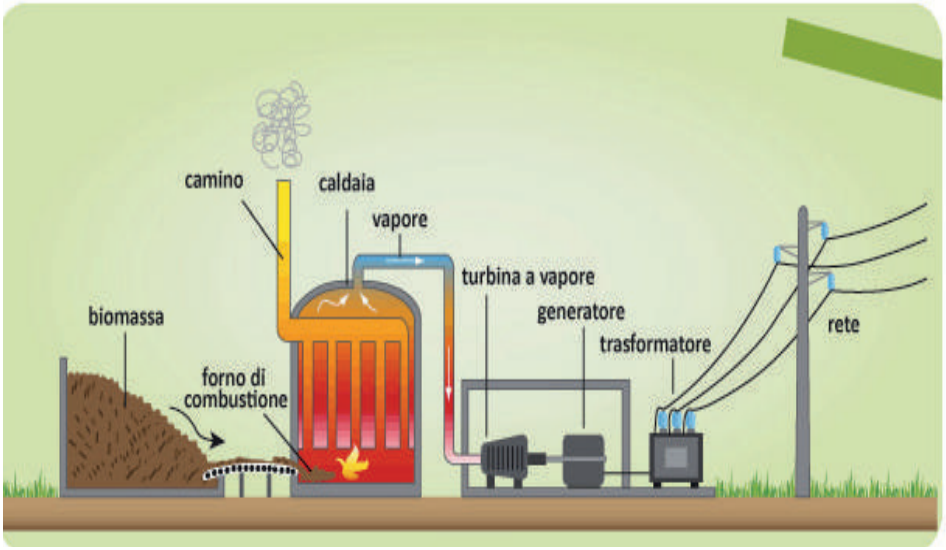
Un modulo fotovoltaico in silicio è formato per circa l'80% dal vetro frontale, per il 10% dall'alluminio della cornice, per il 5% dal silicio delle celle, per circa il 4% da polimeri e per il restante 1% da altri materiali, tra cui piombo e cromo, la cui pericolosità è nota. I componenti di maggior valore degli impianti fotovoltaici – silicio, vetro, rame e alluminio – sono facilmente riciclabili, anche per la produzione di nuovi pannelli, mentre piombo e cromo richiedono un'adeguata gestione dei pannelli a fine vita. Depositi in discariche prive di precauzioni potrebbero causare il rilascio di tali materiali nel terreno o nelle falde acquifere o, qualora inceneriti, nell'aria.

Quanto al riciclo, generalmente positivo per l'ambiente perché riduce il volume dei rifiuti e l'energia necessaria alla produzione di materiali, per i pannelli fotovoltaici esso è un processo complesso, non sempre conveniente, dal momento che interessa una serie di operazioni costose. Il bilancio economico ed ecologico del riciclo del fotovoltaico può essere addirittura negativo qualora si tratti di piccole quantità di pannelli dispersi sul territorio. Oltre al problema della dispersione geografica, la situazione si complica ulteriormente se si tiene conto che la vita dei pannelli è, come si è detto sopra, di 25 anni, periodo sufficiente perché le aziende produttrici possano chiudere o fallire e pertanto non essere in grado di farsi carico dell'onere di smaltimenti: con conseguenti difficoltà per lo Stato su cui i costi verrebbero a cadere.

Biomasse di varia natura

Riguardo alle centrali a biomassa il giudizio è controverso perché molti sono i fattori di cui è necessario tener conto. In primo luogo sono da considerare la dimensione dell'impianto, la sua collocazione territoriale, il tipo di biomassa che si intende utilizzare e la sua provenienza. In linea di massima appare opportuno incentivare il modello

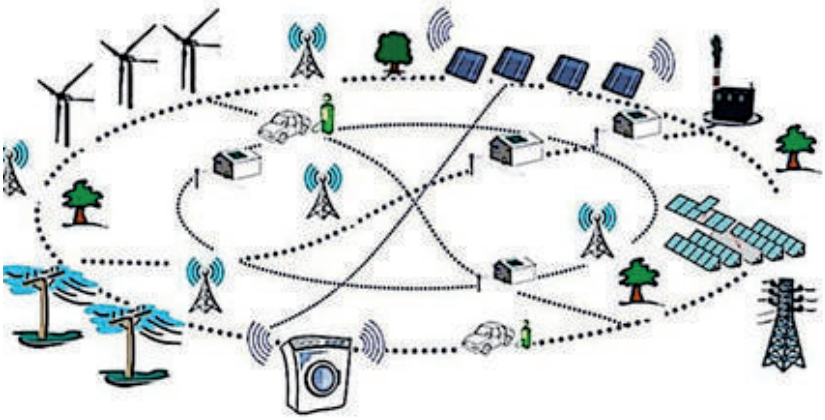
di produzione decentrata e diffusa, più vicina ai luoghi di consumo, evitando sia le importazioni di legna e altri combustibili da altri distretti sia la possibilità di bruciare combustibili da rifiuti. In alcuni casi tuttavia risultano più idonei grandi impianti, soprattutto quando i piccoli non siano ben regolati. È comunque da evitare la trasformazione per scopi economici di territori agricoli tradizionali in territori coltivati con lo scopo di alimentare una centrale a biomasse. Più grave, come la comunità scientifica internazionale ha dimostrato, la questione legata alle emissioni in atmosfera di un alto numero di gas inquinanti, tra i quali l'anidride carbonica. Ma il pericolo maggiore sta nel fatto che le centrali a biomassa possono venir convertite in inceneritori di rifiuti. Le biomasse infatti sono un combustibile povero (hanno una bassa resa energetica) e pertanto il loro utilizzo risulta conveniente finché si usufruisce di incentivi comunitari (CIP6 e Certificati Verdi), senza i quali, a causa degli elevati costi, questi impianti non riuscirebbero a stare sul mercato. Il combustibile da rifiuto è invece un combustibile ad alta resa energetica, abbondante e gratuito. E poiché la legge lo consente, trascorso un periodo di 8 anni per il CIP e di 15 per i Certificati Verdi dall'installazione degli impianti, questi possono essere ampliati e anche bruciare combustibili da rifiuto con gravi ricadute ambientali e sanitarie.



Schema di funzionamento di una centrale a biomasse

Meglio controllabili risultano le centrali geotermiche per la produzione di energia elettrica che tuttavia costituiscono, allo stato attuale delle tecnologie, un tipo di impianto estraneo al paesaggio e pertanto suscettibile di attenzione dal punto di vista del rischio della sua compromissione. Le centrali geotermiche sono azionate, al pari di quelle termoelettriche, da un alternatore posto in funzione da una turbina, mossa dal vapore proveniente, attraverso un pozzo, dall'interno della terra. La produzione di

elettricità generata dal calore del sottosuolo cominciò a Larderello in Toscana nel 1904 per iniziativa di Piero Ginori Conti. Da allora si vennero costruendo parecchie centrali, tanto che oggi se ne contano 37 distribuite tra le provincie di Pisa, Siena e Grosseto. Oltre che per la produzione dell'energia elettrica il vapore del sottosuolo viene utilizzato in agricoltura e per il riscaldamento degli edifici. Si aggiunge infine che le centrali geotermiche emettono idrogeno solforato e mercurio e richiedono di conseguenza l'installazione di impianti di abbattimento. A Larderello viene prodotto all'incirca il 10% della produzione geotermica mondiale.



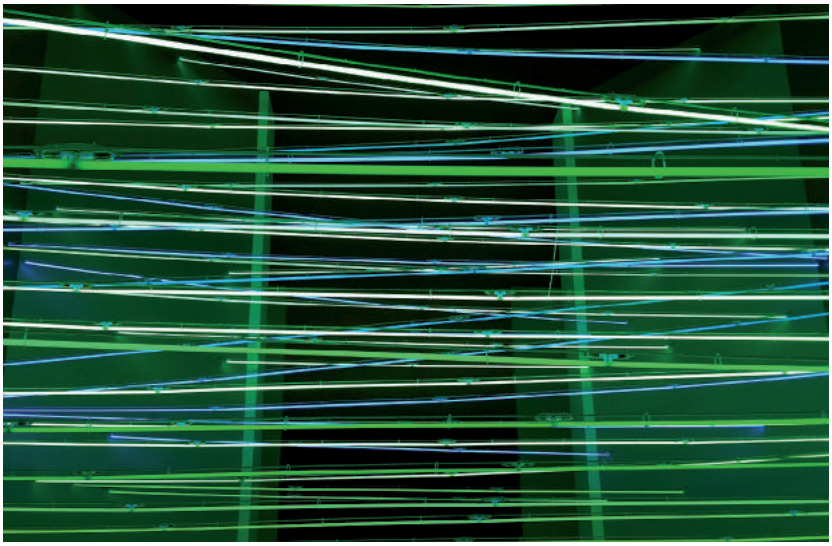
Esempio di smart grid

Un'ultima parola sugli s*mart grid*. Essi sono costituiti da reti di informazione e da reti di distribuzione elettrica, formate in modo da mettere in connessione produttori e consumatori e consentire di conseguenza di integrare e gestire in modo flessibile, data l'intermittenza che caratterizza la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, flussi di energia diversi per qualità, quantità, costo, provenienza e programmabilità. Essi prevedono un sistema di generazione fondato sia sulla presenza di generazione centralizzata, connessa, come attualmente in uso, alle grandi reti di trasmissione di energia, sia sulla presenza di generazione distribuita, anche di limitata capacità. L'utente inserito in uno *smart grid* ha accesso alle informazioni sulla gestione energetica ed è pertanto in grado di contribuire alla promozione di una maggior efficienza energetica.

Particolarmente avanzate in Italia nello studio della realizzazione di *smart grid* sono le ricerche compiute dal Politecnico di Milano in accordo con Enel Distribuzione.

La prospettiva aperta dalle fonti energetiche rinnovabili, seppure irta di difficoltà e ostacoli numerosi e, come si è visto, di diverso ordine, e dagli *smart grid*, che da tali fonti conseguono e che sono ancora lontani dall'essere realizzati, porta con sé nuove speranze per il futuro e ci invita a riflettere sulle tappe del viaggio che abbiamo fin qui

compiuto e ad attrezzarci per quelle che ancora ci restano da percorrere, lungo le linee tracciate dalle istituzioni internazionali attraverso le conferenze, le direttive, i protocolli e gli obiettivi da esse discussi e proposti nel corso degli ultimi decenni.



Lucio Fontana, *Sette livelli di tubi di cristallo al neon verde e blu*
Ambiente realizzato per il Padiglione *Fonti di energia per Italia 61* a Torino.
Distrutto, ricostruito ed esposto alla Mostra *Lucio Fontana Ambienti/Environments*,
Milano, Hangar Bicocca (21 settembre 2017-25 febbraio 2018)

Bibliografia

Armaroli Nicola, Balzani Vincenzo, *Energia per l'astronave Terra*, Bologna, Zanichelli, 2011.

Bethemont Jacques, *Les grands fleuves*, Paris, Arman Colin, 1999-2000.

Bianciardi Carlo, Tiezzi Enzo, Ulgiati Sergio, *L'energia*, Firenze, Giunti-Marzocco, 1992.

Biancotti Augusto, Biancotti Claudia, *Geopolitica del petrolio*, Milano, BEM, 2004.

Bini Elisabetta, Selva Simone, *La fine del petrolio*, in "900 per una storia del tempo presente", 2011.

Brian Martin, *Opposing Nuclear Power: Past and Present*, in "Social Alternatives", vol. 26, n. 2, 2007, pp. 43-47.

Busi Giuseppe *et al.*, *Passato, presente e futuro del clima*, Garbagnate Milanese, Anthelios, 2006.

Butera Federico M., *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Milano, Edizioni Ambiente, 2014.

Caldicott Helen, *Nuclear Power is not an Answer to Global Warming or Anything Else*, Melbourne, Melbourne University Press, 2006.

Caracciolo Alberto, Morelli Nicoletta, *La cattura dell'energia*, Roma, NIS, 1996.

Cardwell Donald Stephen Lowell, *Tecnologia, scienza, storia*, Bologna, il Mulino, 1976.

Carra Luca (a cura di), *Energie. Il punto di vista di Italia Nostra*, Quaderni di Italia Nostra, n. 28, Roma, Gangemi, 2011.

Carrà Sergio (a cura di), *Le fonti energetiche*, Bologna, Il Mulino, 2008.

Cipolla Carlo Maria, *Uomini, tecniche, economie*, Milano, Feltrinelli, 1966.

Colombo Umberto, *Energia Storia e scenari*, Roma, Donzelli, 2000.

Cuppini Alberto, *Antonio Cederna e i vandali del paesaggio*, in "Italia Nostra", num. 497, pp. 24-25.

Debeir Jean-Claude, Deléage Jean-Paul, Hémery Daniel, *Storia dell'energia*, Milano, Edizioni del Sole-24 ore, 1987.

Georgescu-Roegen Nicolas, *Energia e miti economici*, Torino, Boringhieri, 1982.

Giorgi, Filippo, *L'uomo e la farfalla: 6 domande su cui riflettere per comprendere i cambiamenti climatici*, Milano, Franco Angeli, 2018.

Godart Maurizio, *Le fonti dell'energia*, Torino, Utet, 2014.

Harrison Robert Pogue, *Foreste L'ombra della civiltà*, Milano, Garzanti, 1992.

IAEA, *Nuclear Power Reactors in the World*, 2012 in www.pub.iaea.org

Küster Hansjörg, *Storia dei boschi. Dalle origini a oggi*, Torino, Bollati Boringhieri, 2009.

Landes David S., *Prometeo liberato. Trasformazioni tecnologiche e sviluppo industriale nell'Europa occidentale dal 1750 ai giorni nostri*, Torino, Einaudi, 1996.

Leed Eric J., *Per mare e per terra: viaggi, missioni, spedizioni alla scoperta del mondo*, Bologna, il Mulino, 1996.

Maillet Pierre, *L'énergie*, Paris, Presses universitaires de France, 1954.

Malanima Paolo, *Uomini, risorse, tecniche nell'economia europea dal X al XIX secolo*, Milano, Bruno Mondadori, 2009.

Malanima Paolo, *Le energie degli italiani: due secoli di storia*, Milano, Bruno Mondadori, 2013.

Malanima Paolo, *Energia e crescita nell'Europa preindustriale*, Roma, NIS, 1996.

Mokyr Joel, *La leva della ricchezza: creatività, tecnologia e progresso economico*, Bologna, il Mulino, 1995.

Musson Albert Edward, Robinson Eric, *Scienza e tecnologia nella rivoluzione industriale*, Bologna, il Mulino, 1974.

Pavese Claudio, *L'energia, le risorse, l'ambiente*, in Pier Angelo Toninelli (a cura di), *Lo sviluppo economico moderno Dalla rivoluzione industriale alla crisi energetica (1750-1973)*, Marsilio, Venezia, 1997, pp. 107-154.

Pedde Nicola, *Geopolitica dell'energia*, Roma, Carocci, 2001.

Raison Jean-Pierre, *Risorse*, in *Enciclopedia, ad vocem*, Torino, Einaudi, vol. 12, 1981.

Roberts Paul, *Dopo il petrolio*, Torino, Einaudi, 2005.

Salaman Redcliffe Nathan, *Storia sociale della patata*, Milano, Garzanti, 1989.

Scott Joe, *Energy through Time*, Oxford, Oxford University Press, 1986.

Sereni Emilio, *Storia del paesaggio agrario italiano*, Roma-Bari, Laterza, 1979.

Silvestri Mario, *Il futuro dell'energia*, Torino, Bollati Boringhieri, 1988.

Singer Charles *et al.* (a cura di), *Storia della tecnologia*, Torino, Bollati Boringhieri, 1964.

Smil Vaclav, *Storia dell'energia*, Bologna, il Mulino, 2000.

Storia dell'industria elettrica in Italia, Roma, Laterza, 1992-1994, 5 voll.

Wenar Leif, *Il re nero Petrolio, risorse naturali e le regole che governano il mondo*, Roma, Luiss University Press, 2016.

www.terraterraonline.org/blog/sul-fiume-narmada-in-india-trentanni-di-resistenza-contro-le-grandi-dighe/

www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/energia/strategia-energetica-nazionale

www.sergioferraris.it

https://www.ilpost.it/filippozuliani/2014/08/27/rifiuti-fotovoltaici/)

www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Contenuti/MibacUnif/Comunicati/visualizza_asset.html_163770998.html
www.ilpost.it/filippozuliani/2014/08/27/rifiuti-fotovoltaici/
https://it.wikipedia.org/wiki/Energie_rinnovabili
sito della carta mondiale con le riserve di uranio “Riserve di uranio nel mondo”
https://it.wikipedia.org/wiki/Energie_rinnovabili
sito della percentuale di energia rinnovabile in Europa

Autrice

Agnese Visconti

Agnese Visconti ha insegnato Geografia nelle Università di Trieste, Milano e Pavia. Ha inoltre svolto lavori di collaborazione per il Museo Civico di Storia Naturale di Milano, Sezione Manoscritti e per la Regione Lombardia, Settore Cultura e Informazione. Ha avviato per incarico della Provincia di Cremona la realizzazione del "Progetto di Agenda XXI: il territorio come ecomuseo", teso alla ricognizione della parte settentrionale della Provincia, e alla conservazione del suo paesaggio. È autrice di numerosi articoli testi e contributi di argomento storico-naturalistico, tra i quali *I 150 anni del Museo Civico di Storia naturale di Milano*, Fusi, Pavia 1988; *Georges-Louis Leclerc de Buffon*, Fusi, Pavia 1989 e *Immagini di scienza, viaggi e arte a 150 anni dalla morte del naturalista tedesco Alexander von Humboldt*, Ibis, Como-Pavia 2009. Attualmente si occupa di storia dei rapporti tra uomini e ambienti, con particolare attenzione al territorio padano e a quello alpino. È autrice della Lampada di Aladino recante il titolo *La pianura padana irrigua: storie e prospettive*.

Italia Nostra

Italia Nostra nasce il 29 ottobre 1955 dalla volontà di un gruppo di cittadini, tra cui il Sen. Umberto Zanotti Bianco, Elena Croce, Desideria Pasolini dall'Onda, Giorgio Bassani, consapevoli dell'urgenza di proteggere l'Italia dagli "sventramenti" e le distruzioni che stavano avvenendo con il dopo-guerra e la ricostruzione. Aderendo appieno all'art. 9 della Costituzione, da 60 anni Italia Nostra si batte per la tutela del patrimonio storico, artistico e naturale della Nazione.
I beni culturali, i centri storici, i parchi archeologici, la pianificazione urbanistica e territoriale, i parchi nazionali, la questione energetica, lo sviluppo sostenibile, la viabilità e i trasporti, l'agricoltura, il mare, le coste, le isole, i musei, le biblioteche, gli archivi storici, l'**educazione al patrimonio culturale e ambientale**: questi sono solo alcuni dei capitoli più importanti dell'attività capillare delle 200 Sezioni sparse su tutto il territorio nazionale, spesso sostenuta da una ricerca approfondita e documentata e da una vasta pubblicistica che oggi costituisce un patrimonio unico e insostituibile a disposizione del Paese.

Istituto della Enciclopedia Italiana

TRECCANI
LA CULTURA ITALIANA

L'**Istituto della Enciclopedia Italiana** nasce il 18 febbraio del 1925 per opera di Giovanni Treccani degli Alfieri, con la finalità principale di pubblicare l'Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti, un'opera editoriale in grado di contribuire in modo determinante alla crescita culturale italiana. L'attività svolta dalla Treccani negli ultimi novanta anni è documentata dal catalogo delle sue opere, enciclopediche, lessicografiche e specialistiche, e da un archivio di testimonianze, che raccontano anche una complessa rete di rapporti nazionali e internazionali: da Giovanni Gentile a Enrico Fermi, da Filippo Tommaso Marinetti a Federico Chabod, da Claude Lévi-Strauss a David Ben Gurion, da Lionello Venturi a Rita Levi-Montalcini.
Per cogliere le sfide che il progresso pone, oggi, al mondo della cultura e dell'editoria, l'Istituto della Enciclopedia Italiana ha reso disponibile un'articolata offerta digitale, fondata sul portale **www.treccani.it**. Convinto del valore delle nuove tecnologie, l'Istituto si propone di continuare a garantire, con la competenza e l'autorevolezza dei propri autori e collaboratori, la correttezza e la completezza delle informazioni. Il senso della scelta di offrire i propri contenuti anche sul web risiede nella convinzione che ciò costituisca il modo più corretto per realizzare la missione dell'Istituto enunciata nel suo statuto: non soltanto «la compilazione, l'aggiornamento, la pubblicazione e la diffusione della Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti», ma anche contribuire agli «sviluppi della cultura umanistica e scientifica» e rispondere a «esigenze educative, di ricerca e di servizio sociale».