

Juan José Gómez Cadenas

# L'ambientalista nucleare

Alternative al cambiamento climatico



*La fotografia è in bianco e nero, ma conserva tutta la luce  
di una serata estiva del 1959.  
L'uomo ha un naso coraggioso, il mento onesto e baffi alla Clark Gable.  
La ragazza è bruna e bellissima.  
Il sorriso di lei è estatico, quello di lui, incredulo;  
quello di entrambi, innamorato.  
Quest'anno festeggiamo le loro nozze d'oro.  
Ai miei genitori*

Juan José Gómez Cadenas

# L'ambientalista nucleare

Alternative al cambiamento climatico

Traduzione di **Cristina Ingiardi**



Springer

Juan José Gómez Cadenas

© Juan José Gómez Cadenas 2012

Edizione originale

El ecologista nuclear, di Juan José Gómez Cadenas

© Espasa Calpe, S. A., 2009

Collana *i blu - pagine di scienza* ideata e curata da Marina Forlizzi

ISSN 2239-7477

e-ISSN 2239-7663



Questo libro è stampato su carta FSC amica delle foreste. Il logo FSC identifica prodotti che contengono carta proveniente da foreste gestite secondo i rigorosi standard ambientali, economici e sociali definiti dal Forest Stewardship Council

ISBN 978-88-470-2497-7

ISBN 978-88-470-2498-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-88-470-2498-4

© Springer-Verlag Italia, Milano 2012

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore, e la sua riproduzione è ammessa solo ed esclusivamente nei limiti stabiliti dalla stessa. Le fotocopie per uso personale possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni per uso non personale e/o oltre il limite del 15% potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail [segreteria@aidro.org](mailto:segreteria@aidro.org) e sito web [www.aidro.org](http://www.aidro.org).

Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'utilizzo di illustrazioni e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla registrazione su microfilm o in database, o alla riproduzione in qualsiasi altra forma (stampata o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

L'editore è a disposizione degli aventi diritto per quanto riguarda le fonti che non è riuscito a contattare.

Coordinamento editoriale: Barbara Amorese

Progetto grafico: Ikona s.r.l., Milano

Impaginazione: Ikona s.r.l., Milano

Springer-Verlag Italia S.r.l., via Decembrio 28, I-20137 Milano

Springer-Verlag fa parte di Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

# Indice

Ringraziamenti	VII
<b>1. Non è tutto verde quel che luccica</b>	1
<b>2. Eterno piacere</b>	15
<b>3. Un'eredità dilapidata</b>	23
<b>4. Il combustibile <i>ignobile</i></b>	31
<b>5. Manna che sgorga dalla terra</b>	47
<b>6. Fiamma sacra</b>	69
<b>7. A bordo del <i>Nautilus</i></b>	77
<b>8. Eredità della supernova</b>	93
<b>9. Reattori nucleari</b>	125
<b>10. Nucleare, no grazie?</b>	153
<b>11. La litania antinucleare</b>	187
<b>12. Elio ed Eolo</b>	201
<b>13. Al crocevia</b>	229
<b>Appendice - Fukushima, o il Cigno nero dell'energia nucleare</b>	241
Bibliografia	249

# Ringraziamenti

Ogni libro è una traversata.

Che questa porti i colori delle Edizioni Espasa è stato possibile grazie ad Ana Rosa Semprún, David Cebrián, Lola Cruz, Alicia Escamilla e Celia Villar. Senza l'aiuto di Silvia Bastos sarebbe stato decisamente molto più difficile doppiare Capo Horn.

Senza mia moglie, Pilar, e i miei figli, Irene ed Héctor, non ci sarebbe stata una traversata, ma un naufragio.

Nessun marinaio è solo: questo volume ha beneficiato enormemente delle osservazioni di Pepe Díaz e Paco Camarena, il primo compagno di fatiche professionali, il secondo mezza mela letteraria. Tutta la mia gratitudine anche alla critica, non meno necessaria perché severa, di José Ángel Hernando.

Se le sirene seducevano i naviganti con il loro canto, i miei fratelli, Lola, Concha, Aurelio, Carlos e Toni, e i loro pazienti partner (Carlos, Jesús, Eva, Belén e Reme) si sono dovuti accontentare del monologo di uno sciocco durante lunghi mesi d'ossessione. Molti altri amici (tra gli altri, José Manuel e Merche de Suárez, Carlos Peña, Concha González e Daniel Basomba) mi hanno pazientemente sopportato, così come i miei studenti del dottorato, Justo, Francesc e Raphael.

Ringrazio la cortesia del Consiglio di sicurezza nucleare e il Foro Nuclear per le informazioni inerenti alle centrali nucleari spagnole. Al mio collega José Ángel Menéndez, grazie per il suo aiuto nel capitolo sul carbone. Devo a Bruno Comby e all'AAPN (Associazione ambientalisti per il nucleare) la copertina dell'edizione originale spagnola e la rivelazione in essa riassunta. L'unico modo di rispettare la natura è sviluppare una scienza e una tecnologia che ci permettano di smettere di sfruttarla.

# 1. Non è tutto verde quel che luccica

**Ossimoro** (dal greco oxymoron): combinazione in una medesima struttura sintattica di due termini o espressioni di significato opposto che danno così origine a un nuovo senso: per esempio, un silenzio assordante.

**Ossimoro.** Figura retorica che consisteva nel celare un acuto sarcasmo sotto un apparente assurdo.

*Enciclopedia Espasa*

Il pittore, portando sulle spalle il proprio cavalletto, avanza senza fretta per il grande prato che si allunga fino al limitare del cielo estivo. Giunto sotto un castagno, prepara la tavolozza e gli oli, si stiracchia, sbadiglia, sorride. Indossa una camicia leggera, pantaloni di cotone, e un cappello di paglia gli copre i ricci ribelli. È scalzo: gli piace sentire l'erba che gli accarezza i piedi. Questo pittore ama la natura. La ama come artista e la ama come scienziato. Questo pittore è un fisico nucleare, e il suo lavoro consiste nello sfruttare il potere elementare dell'atomo, lo stesso che fa brillare le stelle, per generare l'elettricità e l'idrogeno utilizzati dalla sua città.

Una città che si estende su entrambe le rive di un ampio fiume, a pochi chilometri da questo prato. Oggi celebra il solstizio d'estate dell'anno 2050 e anche il decimo anniversario della giornata del cambiamento, la data storica in cui venne chiusa l'ultima centrale elettrica a carbone. Per festeggiarla, molte famiglie organizzano escursioni in bicicletta, percorrendo la strada senza automobili che si snoda tra le fattorie eoliche fino al grande bacino artificiale che, insieme agli aerogeneratori e alla centrale nucleare, nutre le abitazioni e le industrie della città. Altri, come lui, si dedicano ai propri hobby preferiti.

La città e i suoi abitanti rifiutano gli eccessi, detestano lo spreco e credono nella solidarietà. Sanno che è necessaria per migliorare un

mondo che conta già, passata la metà del secolo, nove miliardi di abitanti. La gente che vive qui consuma meno energia di quella che si sperperava agli inizi del ventunesimo secolo. Vive in edifici superefficienti, viaggia su treni elettrici ad alta velocità, guida piccole autovetture ibride, e la sola menzione di uno di quei mostruosi 4 x 4 che invadevano le autostrade qualche decennio prima le fa rizzare in testa i capelli. Malgrado ciò, sul pianeta si consuma più energia di quanto sia mai accaduto nel corso della storia, poiché per la prima volta tutti i suoi abitanti hanno diritto a un minimo dignitoso.

Generare tutta questa energia senza ricorrere ai combustibili fossili, la cui minaccia ancora incombe sul futuro come l'ombra di un Nazgûl – la concentrazione di CO<sub>2</sub> si è stabilizzata a 450 parti per milione, o ppm, e gli scienziati nutrono la speranza che la catastrofe sia stata evitata –, richiede uno sforzo immenso. Il pittore è orgoglioso del suo lavoro perché sa di essere una parte importante di questo sforzo. Senza lui e altri come lui, forse il prato per il quale passeggia sarebbe una landa sterile e riarsa.

Oggi il pittore si sente ispirato. Fissando lo sguardo sulle torri gemelle che dominano l'orizzonte, comincia a dipingere. Dopo un po', i giganteschi camini della centrale nucleare iniziano a delinearci sulla sua tela, ma l'artista li ha trasformati in grandi alberi ricoperti di foglie verdi.

## Gaia

Gaia. Durante i miei primi anni d'università non sapevamo parlare d'altro. Gaia era il pianeta madre, il pianeta vivo, la dea della Terra trasformata in divinità su basi scientifiche. E James Lovelock era il suo profeta.

Lovelock aveva lavorato alla NASA nel 1965 come parte della squadra impegnata nel primo tentativo di scoprire la vita sul pianeta rosso. Durante il programma ci si rese conto che l'atmosfera di Venere e Marte, proprio come quella della Terra primitiva, era composta quasi esclusivamente da CO<sub>2</sub>. Che cosa era accaduto sul nostro pianeta perché ora avesse un'atmosfera così diversa da quella dei nostri



vicini? Lo scienziato si avventurò a formulare l'audace ipotesi secondo cui la responsabile di quei profondi cambiamenti fosse la vita stessa.

Lovelock ama parlare di Gaia come se si trattasse di un essere intelligente, capace di esercitare un controllo globale sulla propria temperatura, composizione atmosferica e salinità oceanica attraverso gli (e a beneficio degli) organismi viventi. È una metafora bella, e non del tutto esatta, che gli è costata molti dissapori con il suo stesso "club delle scienze", poco amante delle licenze poetiche, però gli ha anche guadagnato un'infinità di seguaci. Per tutta la mia generazione, James Lovelock non era soltanto un ambientalista, ma l'ambientalismo fatto persona.

Erano pochi coloro che potevano essergli pari sull'altare della nostra ammirazione. Uno era Carl Sagan, autore di libri meravigliosi che parlavano del sistema solare, delle stelle, delle supernove, della ricerca di intelligenza extraterrestre, dei quasar, dei buchi neri e di tutti gli altri prodigi di cui era pieno il cielo. I romanzi dell'altro, Isaac Asimov, erano la nostra Bibbia. Lovelock ci infiammava lo spirito con l'idea di un pianeta vivo, Sagan ci stregava con la bellezza del cosmo, ma era Asimov a convincerci che, un giorno, le nostre astronavi sarebbero partite alla volta di quell'oceano infinito che era lo spazio.

Le sue astronavi, inutile dirlo, erano azionate dall'energia atomica. Non c'era altro modo di ottenere le grandi accelerazioni necessarie per viaggiare a velocità prossime a quelle della luce. Non c'era altro modo di generare l'elettricità, l'idrogeno, i cibi e i materiali sintetici necessari a quegli straordinari transatlantici spaziali che imbarcavano l'umanità alla volta delle stelle. Non c'era altro modo di alimentare i formidabili scudi magnetici che proteggevano la flotta dai raggi cosmici ad alta energia. Come il *Nautilus* del Capitano Nemo, quei vascelli spaziali della fantascienza erano animati da un unico agente, affidabile e potente: l'atomo.

### **La minaccia del cambiamento climatico**

Da allora, sono trascorsi tre decenni. Asimov e Sagan non sono più tra noi. James Lovelock, invece, a novant'anni continua a godere della

stessa energia di sempre e ancora non ha perso il gusto per le metafore, come dimostra il titolo della sua ultima opera.

In *La rivolta di Gaia* [Lovelock, 2006], il vecchio ambientalista sostiene che la mancanza di rispetto degli umani nei confronti del pianeta, che si manifesta nella distruzione delle foreste e della biodiversità terrestre, unita al consumo massiccio di combustibili fossili, sta portando al limite la capacità della Terra di contenere l'effetto dei gas serra. Il risultato può essere terribile:

Il pianeta in cui viviamo non ha che da dare una scrollata di spalle per uccidere centinaia di migliaia di esseri umani [facendo riferimento allo tsunami del dicembre 2004]. Ma ciò non è nulla se paragonato a ciò che potrebbe accadere in un futuro non lontano; stiamo abusando della Terra in misura tale da indurla a ribellarsi e ritornare alle elevate temperature in cui si trovava cinquantacinque milioni di anni fa; se ciò dovesse accadere, la maggior parte di noi e dei nostri discendenti andrà incontro alla propria fine.<sup>1</sup>

Venere, le cui dimensioni e la cui distanza dal Sole non sono molto diverse da quelle della Terra, è un esempio vicino di fino a dove può arrivare questa vendetta annunciata. L'enorme quantità di CO<sub>2</sub> presente nella sua atmosfera provoca un fortissimo effetto serra che innalza la temperatura della superficie del pianeta fino a circa 460° C. Il pianeta è un inferno sprofondato nelle tenebre. La luce non riesce a penetrare la spessa cappa di nubi tossiche composte da diossido di zolfo e acido solforico.

Quali forze controllano l'effetto serra ed evitano che finiamo come il nostro rovinato gemello stellare? Lovelock sostiene che si tratta soprattutto della biomassa, delle foreste, del plancton e delle alghe che ci stiamo affrettando a distruggere mentre, al contempo, aumentiamo in maniera suicida la concentrazione di CO<sub>2</sub> bruciando

---

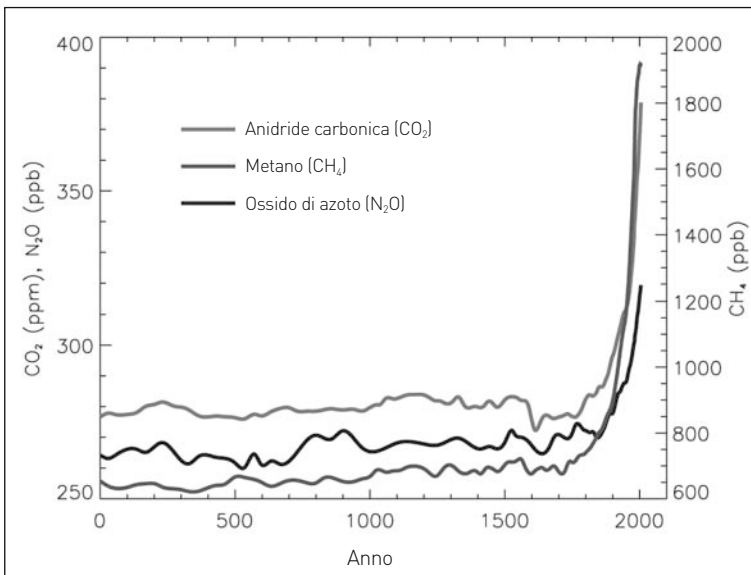
<sup>1</sup> James Lovelock (2006) *La rivolta di Gaia*, traduzione di Massimo Scaglione, Rizzoli, pag. 11. (N.d.T.)

carbone, petrolio e gas naturale. Le conseguenze, secondo lo scienziato, saranno devastanti.

### Le previsioni dell'Ipcc

Lovelock non è l'unico a pensarla così. Il recente studio del Pannello intergovernativo per il cambiamento climatico [Ipcc, 2008]<sup>2</sup> usa un linguaggio più moderato e quantitativo, però giunge essenzialmente alle stesse conclusioni, vale a dire:

- la concentrazione dei gas serra è aumentata esponenzialmente dall'inizio dell'era industriale e, in particolare, durante il ventesimo secolo (grafico 1.1);



**Grafico 1.1** Concentrazione atmosferica di alcuni gas serra negli ultimi duemila anni. [Ipcc, 2008]

<sup>2</sup> L'Ipcc (dalle iniziali inglesi di *Intergovernmental Panel on Climate Change*) è un ente scientifico intergovernativo, fondato dall'Organizzazione mondiale della meteorologia (WMO, come viene abbreviata in base alle iniziali inglesi) e dal Programma ambientale delle Nazioni Unite (UNEP, sempre dalle iniziali inglesi). È composto da centinaia di scienziati di tutto il mondo il cui obiettivo è studiare il cambiamento climatico e le sue conseguenze.

- le emissioni di gas serra nell'atmosfera hanno provocato un aumento di circa un grado della temperatura media del pianeta durante gli ultimi cento anni. Per la precisione, la temperatura è aumentata di mezzo grado dalla metà del ventesimo secolo, in coincidenza con l'aumento della concentrazione dei gas serra;
- alla fine di questo secolo, l'aumento della temperatura potrebbe aggirarsi tra gli uno e i tre gradi. In quest'ultimo caso, le conseguenze sulla nostra civiltà potrebbero essere drammatiche (innalzamento dei livelli del mare che sommergerebbe le città costiere, desertificazione di zone attualmente a clima temperato, ecc.).

### Quando i coccodrilli nuotavano nell'Artide

Il nostro non è il primo periodo caldo nella storia di Gaia. Ce n'era stato uno simile all'incirca cinquantacinque milioni di anni fa, all'inizio dell'era geologica nota come Eocene, causato dal rilascio nell'atmosfera di migliaia di milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> nel giro di un breve lasso di tempo (da poche decine d'anni a due o tre secoli).

Quale fenomeno naturale può aver avuto come effetto un simile aumento di gas che, in condizioni normali, sulla Terra mantengono una concentrazione costante? Una delle possibili spiegazioni, avanzata dal fisico norvegese Henrik Svensen e dalla sua equipe [Svensen et al., 2004], parla della decomposizione degli idrati di metano scatenata dalle eruzioni sottomarine nell'allora attiva regione del Nord Atlantico.

Gli idrati di metano si formano combinando acqua e metano in condizioni di alta pressione e temperatura relativamente bassa, condizioni caratteristiche delle profondità oceaniche. Esistono quantità enormi di questo composto, create dalla decomposizione del plancton e di altri materiali organici. In un certo senso, si tratta di uno degli innumerevoli meccanismi di cui dispone Gaia per autoregolarsi, dal momento che in pratica sono giganteschi depositi di carbone sequestrato nel mare dagli esseri viventi.

Non dobbiamo scordare che i temuti gas serra sono essenziali per la vita. Della radiazione solare che colpisce il nostro pianeta, un terzo si riflette e torna nello spazio (attraverso le nubi, le superfici inne-

vate, gli oceani, ecc.) e il resto viene assorbito ed emesso di nuovo sotto forma di radiazioni infrarosse che, a loro volta, vengono in parte assorbite dai gas che si trovano nell'atmosfera in piccole proporzioni, come CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>) e vapore acqueo. I gas maggioritari (ossigeno e azoto), in compenso, non assorbono le radiazioni infrarosse. Senza la presenza, tra gli altri, di CO<sub>2</sub>, metano e vapore acqueo, la temperatura media della Terra sarebbe di circa -20°C invece dei comodi 15°C della superficie terrestre.

Detto nella lingua di Lovelock, Gaia “sa” come mantenere le concentrazioni di gas serra entro i limiti dei valori ottimali per la vita. A una media di 15°, il mare è un buon habitat per le alghe e gli altri organismi marini che sintetizzano la clorofilla, sequestrando qualunque eccesso di CO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera e portandolo con sé in fondo al mare quando muoiono. Se la concentrazione di CO<sub>2</sub> aumenta, aumenta anche la capacità delle alghe di sintetizzare la clorofilla e, quindi, la popolazione algale, che a sua volta regola il diossido di carbonio immagazzinandolo nel mare, per esempio, sotto forma di idrati di metano.

Però anche la Terra può contrarre la febbre, di tanto in tanto. All'inizio dell'Eocene quella febbre fu l'attività vulcanica che aumentò la temperatura del mare e invertì il ciclo di cattura dell'anidride carbonica sotto forma di idrati di metano. Quando gli idrati si scompongono, nell'atmosfera vengono rilasciate enormi quantità di carbonio, il che a sua volta innalza la temperatura del mare e causa la rottura di altri idrati. L'effetto è simile a una malattia, però il nostro pianeta è molto resistente e non ha tardato a trovare un nuovo stato stabile (o “metastabile”, nel senso che si tratta di uno tra tanti possibili). In questo nuovo stato, che di fatto ha coperto un periodo brevissimo in termini geologici – appena cento o duecentomila anni – la temperatura dell'Oceano Artico era di 23°. Un habitat confortevole per specie quali i cocodrilli!

Da brava mamma, Gaia ama allo stesso modo tutti i suoi figli. Gli studi geologici suggeriscono che le foreste tropicali si estendessero fino a latitudini che oggi coinciderebbero con il nord della Francia o lo stato del Maine negli Stati Uniti. In un clima così caldo crescereb-

bero, indubbiamente, molte specie. Altre si estinguerebbero. Usando ancora le parole di Lovelock:

Nel 2040, il deserto del Sahara avrà invaso mezza Europa. Sto parlando di Parigi, tanto a nord quanto Berlino [...], secondo le previsioni dell'Ipcc, tutte le estati in Europa saranno torride. Il problema più grande non sono le morti che questo calore provocherà, ma la mancanza di cibo. Le piante non potranno crescere [...], siamo sul punto di fare un passaggio evolutivo, e la mia speranza è che le specie che sopravviveranno emergano rafforzate. Sarebbe ridicolo pensare agli esseri umani come alla razza prescelta da Dio.

### CO<sub>2</sub> e combustibili fossili

A differenza di quanto è avvenuto nell'Eocene, l'attuale aumento della concentrazione di gas serra non è dovuto a cause naturali ma piuttosto a una strana specie bipede, glabra ed encefalitica, che è apparsa sul pianeta di recente e che, ancor più di recente, ha iniziato a bruciare combustibili fossili in quantità sufficientemente astronomiche da competere con l'effetto dei vulcani dell'Eocene. Il grafico 1.2 mostra le emissioni mondiali di CO<sub>2</sub> (in milioni di tonnellate), sia a livello mondiale sia per i Paesi Ocse<sup>3</sup> e non Ocse. Richiama l'attenzione il fatto che i Paesi in via di sviluppo raggiungono i Paesi sviluppati intorno al 2005, e nel 2030 rilasciano nell'atmosfera due volte e mezza più CO<sub>2</sub> di questi.

Nel 1990, il rilascio maggiore di CO<sub>2</sub> era dovuto al petrolio (42 per cento), seguito dal carbone (39 per cento) e dal gas naturale (19 per cento). Nel 2030, le previsioni dell'AIE (Agenzia internazionale dell'energia)<sup>4</sup> situano al primo posto il carbone (44 per cento), seguito dal petrolio (35 per cento) e dal gas naturale (21 per cento). L'aumento spettacolare delle emissioni associate al carbone (e in

---

<sup>3</sup> Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico. Organizzazione di cooperazione internazionale composta da trenta Stati, quasi tutti Paesi sviluppati, il cui obiettivo è coordinare le rispettive politiche economiche e sociali.

<sup>4</sup> Spesso denominata IEA dalle iniziali inglesi di *International Energy Agency*.

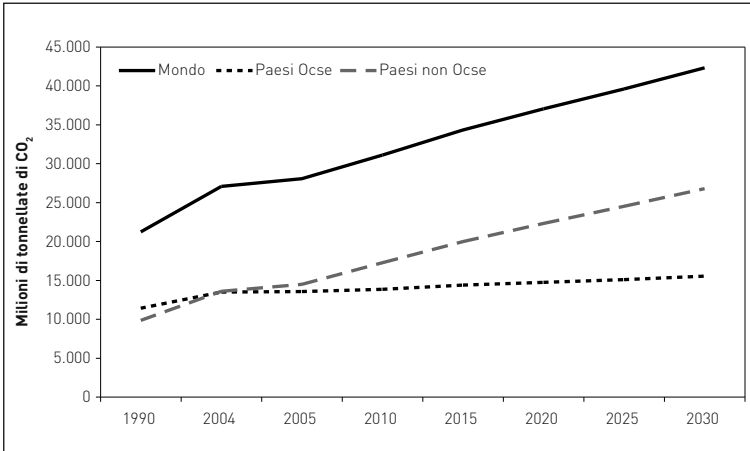


Grafico 1.2 Emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (storico e previsto dall'EIA). [EIA, 2008]

minor misura al gas naturale) si deve soprattutto all'aumento della produzione elettrica.

### Giocando con il fuoco

Secondo lo studio di Svensen e della sua squadra, le eruzioni vulcaniche dell'Eocene potrebbero aver liberato nell'atmosfera circa sei gigatonnellate<sup>5</sup> in un lasso di tempo che si aggira tra i trentacinque e i trecentocinquanta anni. Si tratta di una quantità paragonabile a quella che si sta rilasciando attualmente, come conseguenza diretta dell'azione umana a partire dal 1990.

Il ragionamento non potrebbe essere più semplice: se i vulcani dell'Eocene hanno provocato la destabilizzazione degli idrati di carbonio... non potrebbe accadere la medesima cosa adesso?

Non ancora. Gli oceani non si sono ancora riscaldati abbastanza perché questo accada. Tuttavia, se anche domani smettessimo di colpo di rilasciare CO<sub>2</sub>, il pianeta continuerebbe a scaldarsi per i prossimi secoli. L'attuale concentrazione di diossido di carbonio (380 parti per milione, o ppm) eccede già il massimo registrato durante le passate

<sup>5</sup> Una gigatonnellata (o Gt) è pari a mille milioni di tonnellate (vedere capitolo 2).

ere interglaciali e il suo effetto in un certo senso è quello di una bomba a orologeria con un meccanismo di esplosione ritardata. Gli oceani hanno già iniziato a scaldarsi e, se continueranno così, ripeteremo, nel giro di qualche decennio o di un paio di secoli, l'esperimento di Gaia con gli idrati di metano. La bomba è stata innescata, e una specie più intelligente della nostra starà facendo tutto il possibile per disinnescarla prima che esploda.

### Ambientalisti nucleari

In *La rivolta di Gaia*, Lovelock non si limita a lamentarsi. Invoca provvedimenti, da adottare con la maggiore urgenza possibile, per fermare le emissioni di CO<sub>2</sub> prima che il cambiamento climatico sia irreversibile. E, tra tutti i provvedimenti, questo padre dell'ambientalismo moderno sostiene soprattutto l'uso dell'energia nucleare.

Sono un "verde" [...] ma sono anche, e soprattutto, uno scienziato; per questo chiedo insistentemente a quelli che tra i verdi sono miei amici di rivedere le loro ingenuo convinzioni sul fatto che lo sviluppo sostenibile, l'energia rinnovabile e i risparmi di energia siano tutto ciò che deve essere attuato. Più di ogni altra cosa, essi devono lasciar cadere la loro ostinata opposizione all'energia nucleare. Anche qualora avessero ragione sui suoi pericoli – e non ce l'hanno – il suo uso come fonte di energia certa, sicura e affidabile porrebbe un rischio insignificante rispetto al pericolo reale di ondate di calore intollerabili e letali, e di un innalzamento del livello del mare tale da minacciare ogni città costiera del mondo. Il concetto di energia rinnovabile suona bene, ma finora è inefficiente e costoso. Ha certamente un futuro, ma ora noi non abbiamo il tempo per sperimentare fonti di energia ancora poco più che immaginarie: la civiltà è in pericolo imminente, e dobbiamo passare al nucleare ora, oppure rassegnarci alla dolorosa punizione che il nostro oltraggiato pianeta vorrà infliggerci.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> James Lovelock (2006) *La rivolta di Gaia*, traduzione di Massimo Scaglione, Rizzoli, pag. 21-22. (N.d.T.)



Lovelock non è l'unico ambientalista a pensarla così. Patrick Moore, uno dei fondatori di Greenpeace nonché presidente della sezione canadese per diversi anni – anche se in seguito abbandonerà l'organizzazione per fondare un altro gruppo, chiamato Greenspirit – è della stessa opinione. Cosa ancor più rilevante, l'associazione di ambientalisti per l'energia nucleare<sup>7</sup>, guidata dall'ingegner Bruno Comby, difende a oltranza l'apparente blasfemia secondo cui l'energia atomica è necessaria per un mondo migliore. Tra le file degli scienziati, noi difensori dell'energia nucleare siamo la maggioranza.

Al contrario, movimenti come Greenpeace si mantengono inflessibili nel loro rifiuto assoluto di tutto ciò che ha a che vedere con l'atomo e di recente hanno lanciato in Spagna una virulenta campagna antinucleare infestata da notizie ostinate, esagerate, inesatte o, semplicemente, false.

Chi è nel vero? Per potersi formare un'opinione ragionevole è necessario conoscere piuttosto dettagliatamente questo tema appassionante. Ti invito, amico lettore, a rispondere alle seguenti domande – senza fare ricorso a Google – prima di consultare le note a piè di pagina.

1. Che cosa emette più radioattività nell'atmosfera: una centrale nucleare o una centrale termica?<sup>8</sup>
2. Che cosa comporta maggior rischio: vivere nei pressi di una centrale nucleare o fumare una sigaretta?<sup>9</sup>
3. Non è vero che il consumo di carbone sta diminuendo nel mondo?<sup>10</sup>
4. Non è sufficiente il risparmio energetico per risolvere il problema?<sup>11</sup>

<sup>7</sup> Ai quali questo libro deve l'ispirazione sia per il titolo sia per la copertina dell'edizione originale spagnola, vedi <http://www.ecolo.org/>

<sup>8</sup> Una centrale termica. Capitolo 9.

<sup>9</sup> Fumare *una sola sigaretta* equivale al rischio di vivere due anni vicino a una centrale nucleare. Capitolo 10.

<sup>10</sup> Al contrario, sta aumentando drasticamente. Capitolo 4.

<sup>11</sup> Assolutamente no. Il consumo di carbone e le emissioni di CO<sub>2</sub> sono guidati dai Paesi in via di sviluppo, come la Cina e l'India, il cui consumo pro capite è di gran lunga inferiore a quello della Spagna in cambio di una popolazione di quasi tremila milioni di persone. Capitoli 4 e 7.

5. Le centrali nucleari emettono CO<sub>2</sub>?<sup>12</sup>
6. Di quanto uranio c'è bisogno per produrre l'energia prodotta a partire da una tonnellata di carbone?<sup>13</sup>
7. Quanti aerogeneratori servono per sostituire una centrale nucleare?<sup>14</sup>
8. Che cosa si fa in un'ora di punta di richiesta energetica se non soffia il vento?<sup>15</sup>
9. Come si posizionano i costi di costruzione di un parco solare fotovoltaico in confronto a quelli di una centrale nucleare?<sup>16</sup>
10. Una centrale nucleare produce rifiuti altamente radioattivi. Quanto occupano in volume i rifiuti prodotti da una famiglia tipo composta da quattro persone, in Spagna, nel corso di tutta la sua vita?<sup>17</sup>
11. A quanti metri di profondità si dovrebbero sotterrare affinché non causino effetti nocivi?<sup>18</sup>
12. Non è vero che le scorie rimangono attive per milioni di anni?<sup>19</sup>
13. Non è vero che è rimasto poco uranio?<sup>20</sup>

---

<sup>12</sup> Nessuna emissione diretta. Per quanto riguarda le "emissioni indirette", associate alla loro costruzione o all'estrazione mineraria dell'uranio, sono inferiori a quelle delle centrali fotovoltaiche e termosolari e, in ogni caso, si tratta di una quantità risibile. Capitolo 11.

<sup>13</sup> Dieci grammi, che occupano più o meno la capocchia di uno spillo. Capitoli 9 e 11.

<sup>14</sup> Circa duemila, dell'ultima generazione. Separati tra di loro dei cinquecento metri necessari perché siano efficienti, la fila dei mulini si estenderebbe da Barcellona a Ginevra, attraversando l'intera Francia. Capitolo 12.

<sup>15</sup> Si ricorre a impianti di pompaggio o centrali a gas di riserva. L'energia elettrica non può essere immagazzinata. Capitolo 12.

<sup>16</sup> Oggi come oggi, un parco fotovoltaico risulta dieci volte più caro, in termini di kilowattora, di una centrale nucleare. Capitolo 12.

<sup>17</sup> Quello di una pallina da golf. Capitolo 9.

<sup>18</sup> Sono sufficienti pochi metri di profondità. Capitolo 9.

<sup>19</sup> Sì, in effetti. Solo che lo stesso uranio, un metallo comune quanto lo zinco e presente in concentrazioni non disprezzabili in tutto ciò che ci circonda, è il materiale radioattivo che perdura più a lungo nella Terra. L'attività delle scorie provenienti da una centrale nucleare scende al di sotto dell'attività naturale dell'uranio dopo poche migliaia di anni. Inoltre, è possibile riciclare e bruciare le scorie più resistenti con reattori a neutroni veloci. Se questa tecnica si impone, le scorie smettono di essere un problema dopo poche centinaia d'anni. Capitolo 9.

<sup>20</sup> Dipende dal punto di vista. Ce n'è per circa sette milioni di anni, se siamo veri spreconi. Capitolo 11.

14. Che bisogno c'è dell'energia nucleare? Non possiamo ottenere tutta quella che ci serve dalle fonti rinnovabili?<sup>21</sup>

Coloro che sono riusciti a rispondere in modo abbastanza corretto possono presumere di essere straordinariamente perspicaci o di appartenere a una minoranza le cui conoscenze riguardo all'energia nucleare non sono influenzate dalla litania che l'ambientalismo attivista ha diffuso con grande successo in questi decenni. Nelle prossime pagine riprenderemo questi punti, e anche molti altri.

Ricapitolando: pochi oggi dubitano che il problema più importante del nostro tempo sia evitare la catastrofe planetaria dovuta al cambiamento climatico. Eppure, per quanto sia gravissima, la minaccia non è sufficientemente immediata per riuscire ad attivare sul serio gli allarmi della popolazione, dei politici e di coloro che continuano a definirsi ambientalisti nonostante il rifiuto di guardare in faccia la realtà. Paradossalmente, continuiamo a preoccuparci della possibile attività delle scorie nei prossimi diecimila anni, quando ci sono molte più ragioni per inquietarci per l'esplosione degli idrati di metano nel giro di un secolo. Ambientalismo, oggi, non può significare continuare a ripetere argomenti triti arroccandosi in dogmi fanatici. Non è tutto verde quel che luccica.

### **Come leggere questo libro**

Questo libro parla di energia, per cui è buona cosa iniziare ripassando il significato di questo concetto che tutti capiamo ma che pochi sanno definire con precisione, e spiegando le unità senza le quali non potremmo misurarla (capitolo 2). Seguono cinque capitoli dedicati a comprendere la nostra società osservandola dal punto di vista energetico. Siamo assolutamente dipendenti dal consumo di combustibili fossili (capitolo 3) e non è possibile comprendere il crocevia sul quale ci troviamo se non si possiedono un'infarinatura della storia e

---

<sup>21</sup> Magari! Invece il vecchio sogno solare è ancora impossibile, sia per ragioni fisiche – variabilità della risorsa – sia per ragioni tecnologiche ed economiche.

attualità del carbone (capitolo 4), del petrolio (capitolo 5) e del gas naturale (capitolo 6), tutti combustibili di cui ci serviamo, soprattutto il primo e l'ultimo, per produrre il flusso vitale che anima le vene del nostro tempo: l'elettricità (capitolo 7).

La seconda parte del libro parla dell'energia nucleare, una delle poche alternative di cui disponiamo per evitare il disastro ugualmente previsto sia da Lovelock sia dall'Ipcc. Dedico il capitolo 8 a parlare della sua storia, una delle più appassionanti del ventesimo secolo. Parlo anche di reattori nucleari, spiegando come funzionano e le ragioni per cui sono sicuri (capitolo 9). Esamino le ragioni della paura della radioattività, gli incidenti e gli attacchi terroristici (capitolo 10 e Appendice). E, naturalmente, mi occupo anche della spinosa questione delle scorie. Infine, chiarisco temi quali l'abbondanza di uranio o il costo dell'energia nucleare (capitolo 11).

Una delle argomentazioni che si sentono più di frequente è che l'energia nucleare non è necessaria perché sono sufficienti quelle rinnovabili. Nel capitolo 12 esamino questa ipotesi. L'ultimo capitolo dà una sbirciata al futuro, per domandarsi se c'è modo di rimediare al sopruso che stiamo commettendo da un secolo.

Il futuro. I nostri nipoti, o magari i nipoti dei nostri nipoti, non si rassegneranno a rimanere per sempre incatenati a Gaia. I figli se ne vanno da casa quando crescono, e lo stesso faranno i nostri, di qui a cento o mille anni, prima diretti su Marte e, in seguito, chissà dove. All'inizio saranno pochi e poi, con il passare del tempo, una moltitudine. Viaggiare, conoscere, scoprire sono nella nostra natura. E, quando lo faranno, lo faranno a bordo di astronavi che non assomiglieranno per niente a quelle immaginate dagli scrittori di fantascienza dei miei anni di gioventù. Tranne che per un dettaglio. Senza alcun dubbio, a muoverle sarà il potere dell'atomo.

## 2. Eterno piacere

L'energia è l'Eterno Piacere<sup>1</sup>

*William Blake*

### Sisifo all'inferno

Durante la sua discesa all'Ade, Ulisse (*Odissea*, XI) incontra Sisifo, re di Efira nonché, forse, suo padre illegittimo. Come lo stesso Odisseo, anche Sisifo fu un grande navigatore e un ancor più grande bugiardo, tale da competere con il figlio non riconosciuto per il titolo del più astuto tra gli uomini. La sua impresa più rilevante fu quella di catturare Thanatos, l'emissario della morte, quando quest'ultimo andò a cercarlo, causando un grande scompiglio nel mondo poiché nessuno morì nel lasso di tempo che servì al dio Ares per rimediare a quel sopruso. Quando, infine, il grande imbrogliatore finì all'inferno, venne condannato a spingere un enorme macigno su per un ripido versante. Proprio in cima alla collina, il masso gli scivolava dalle mani sudaticce e ruzzolava giù, così che il poveretto si trovava condannato a ripetere all'infinito la stessa trafila.

Per spingere in alto la pietra, Sisifo deve applicare energia (muscolare) contro la forza di gravità, che si oppone ai suoi sforzi. Come risultato del suo lavoro, quando giunge in cima alla collina il masso in questione ha acquisito un tipo di energia che chiamiamo *energia potenziale*,  $E_p$ . La roccia può (da qui il termine "potenziale") realizzare un lavoro man mano che cade, proporzionale alla massa della pietra ( $m$ ), all'altezza della montagna ( $h$ ) e a una costante che rappresenta l'azione della gravità ( $g$ ), ovvero:  $E_p = m \times g \times h$ .

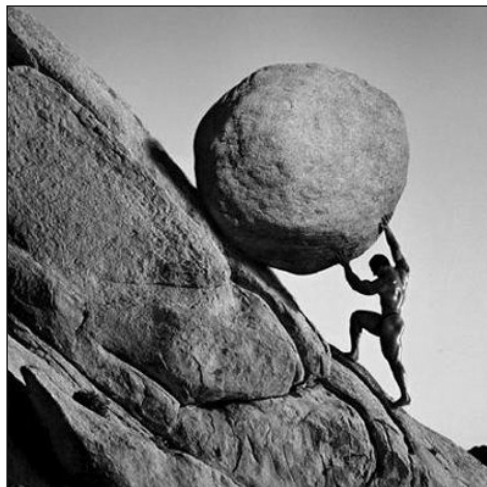
---

<sup>1</sup> William Blake (1996) *Selected Poems, Poesie Scelte*, versione italiana di Giuseppe Ungaretti, a cura di Annamaria Laserra, *Il matrimonio del cielo e dell'inferno*, Einaudi, pag. 22. (N.d.T.)

Sisifo trasforma la propria energia muscolare in energia potenziale che, a sua volta, si può convertire in elettricità (se la sua condanna fosse stata spingere una grande tanica d'acqua anziché un masso, il liquido, cadendo, avrebbe potuto azionare una turbina collegata a un alternatore per produrre corrente). Nel corso di tutto questo procedimento c'è una certa quantità che fluisce conservando la propria grandezza mentre, al contempo, cambia "genere" (energia muscolare, potenziale, elettrica). *L'energia non si crea né si distrugge, ma si trasforma solamente.* Questa è la prima e più famosa legge della termodinamica, nata dalle osservazioni del medico tedesco J. R. Mayer (1814-1878) e la cui formulazione finale, dopo anni di laboriosi esperimenti, si deve al grande fisico inglese J. P. Joule (1818-1889).

## Potenza

Il concetto di *potenza* ci è familiare quanto quello di energia; anzi, di fatto spesso li confondiamo allegramente tra di loro. L'esatta definizione di potenza è *la capacità di realizzare un lavoro nell'unità di tempo.*



**Figura 2.1** Sisifo spinge il suo masso in cima alla montagna. Cadendo, esso può produrre lavoro. Diciamo che il masso acquista *energia potenziale*

A mo' d'esempio, immaginiamo che due Sisifi si diano da fare con due rocce dello stesso peso. Uno di loro, più muscoloso dell'altro, riesce a spingere più in fretta il masso (ovvero, è in grado di esercitare più lavoro per unità di tempo o, che è lo stesso, di sviluppare più potenza), ragion per cui si lascia alle spalle il compagno di fatiche. Sappiamo già che la ricompensa che attende entrambi è la stessa: quando arrivano in cima, il macigno sfugge. Il lavoro che le due pietre possono realizzare è lo stesso e, quindi, anche l'energia che i due condannati hanno generato (e consumato) è la stessa. La maggiore potenza del Sisifo muscoloso si traduce semplicemente nel realizzare prima il proprio lavoro rispetto al collega più debole.

È importante capire che la potenza ha bisogno del tempo per essere messa in relazione con l'energia. Un esempio banale: che cosa consuma più energia, un'automobile da sessanta cavalli o una da duecento? La risposta è ovvia: *dipende da quanto tempo stanno accese*. Tutta la potenza di una Mercedes non ci costa una goccia di benzina se non la avviamo (in compenso, sfortunatamente, non ci porta da nessuna parte).

### **Unità di misura per l'energia e la potenza**

L'energia si misura avvalendosi di diverse unità, tra le quali la più ricorrente nella vita di tutti i giorni è la kilocaloria, utilizzata per descrivere la capacità energetica degli alimenti. Sappiamo tutti, per esempio, che la quantità di energia che deve consumare quotidianamente un adulto varia tra le duemila e le tremila *calorie*, a seconda del sesso, dell'età, della costituzione e dell'attività fisica (una dieta moderata per perdere peso consiglia circa millecinquecento calorie al giorno, mentre le diete d'urto si situano intorno alle mille).

Familiare, no? E anche sbagliato. Una dieta di tremila calorie non manterrebbe in vita nemmeno un topo di venti grammi. Quando diciamo "caloria" in realtà intendiamo parlare di "kilocaloria", vale a dire mille calorie. L'energia media che dobbiamo consumare sarà pertanto di circa duemilacinquecento kilocalorie, vale a dire  $2.500 \times 1.000$  calorie o, che poi è lo stesso, *2,5 milioni* di calorie, che possiamo abbreviare in 2,5 Mcal.

Essendo un'unità di uso comune, la caloria non fa parte del cosiddetto Sistema internazionale delle unità di misura, o SI, che include il metro come unità di lunghezza, il kilogrammo come unità di massa e il secondo come unità di tempo. L'unità di misura dell'energia nel SI è il joule (in onore di J.P. Joule) e si indica con il simbolo J. Una caloria equivale a 4,18 J, per cui le 2.500 kilocalorie (o 2,5 Mcal) della nostra dieta quotidiana equivalgono a 10,5 milioni di joule (o 10,5 MJ).

Il joule, come la caloria, misura piccole quantità di energia, il che costringe a ricorrere a dei prefissi per risparmiare gli zeri. Come abbiamo visto, invece di scrivere 2.500.000 calorie per quantificare l'energia di una dieta media usiamo 2.500 *kilocalorie*, o addirittura 2,5 *megacalorie*. Lo stesso succede con il joule. La tabella seguente mostra i prefissi più usati.

Prefissi e multipli

Prefisso	abbreviazione	valore	equivalente decimale	esempio [joule]
kilo	k	mille	$10^3$ (1.000)	kJ
Mega	M	milione	$10^6$ (1.000.000)	MJ
Giga	G	miliardo	$10^9$	GJ
Tera	T	bilione	$10^{12}$	TJ
Peta	P	triliardo	$10^{15}$	PJ
Exa	E	trilione	$10^{18}$	EJ

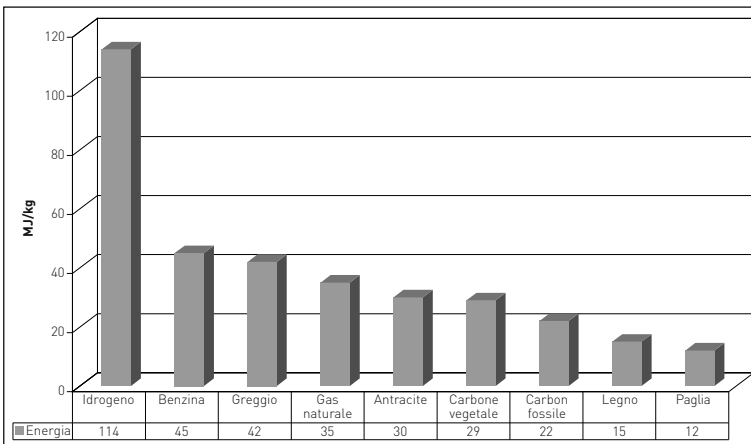
Alcuni esempi: un pisello contiene 5.000 J (5 kJ) di energia chimica. Un topo ha bisogno di circa 50.000 J (50 kJ) al giorno. Un uomo adulto di circa 10,4 MJ. La tanica di benzina di una vettura turismo contiene all'incirca 1,25 GJ.

Il grafico 2.1 illustra l'energia fornita da diversi combustibili. Come possiamo vedere, un kilogrammo di idrogeno equivale a due kilogrammi e mezzo di benzina, tre di gas naturale, sette di legno e dieci di paglia o sterco. Tra i combustibili fossili il petrolio è il più energetico, ed equivale a due chili di carbon fossile, tre di legno o quattro di paglia.



Un'unità di misura dell'energia che viene utilizzata spesso è la tonnellata di petrolio equivalente, o *tep*, il cui valore indica semplicemente il potere calorifico di una tonnellata di petrolio. Se un kilogrammo fornisce 42 MJ (vedere tabella), una tonnellata ne fornisce mille volte di più, vale a dire 42 GJ. Questa unità ci permette di confrontare i diversi combustibili fossili in termini energetici. Così una tonnellata di gas naturale equivale a 0,83 tep, una di antracite equivale a 0,7 tep e una di carbon fossile a 0,52 tep.

A differenza della (kilo)caloria, l'unità più comune per misurare la potenza appartiene al SI. Si tratta del watt (W), così chiamato in omaggio alla memoria di James Watt (l'inventore della prima macchina a vapore moderna) e si definisce come il lavoro di un joule in un secondo (ovvero:  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ ). Quando diciamo che la potenza di una lampadina è di 100 W, stiamo dicendo che l'energia elettrica che bisogna consumare per mantenerla accesa è di 100 joule al secondo. Pertanto, se la lampadina resta accesa per circa cinque ore al giorno, la quantità di energia che consuma sarà  $5 \times 60 \times 60 \times 100 = 1.800.000 \text{ J}$  o 1,8 MJ. Curiosamente, il metabolismo basale di un uomo corpulento è dello stesso ordine, ovvero all'incirca 100 W. Per calcolare la quantità di energia consumata da questo metabolismo dobbiamo,



**Grafico 2.1** Potere energetico di diversi combustibili

tuttavia, moltiplicare questo valore per le ventiquattro ore del giorno, poiché i processi chimici basilari che ci tengono in vita non si fermano mai. Il risultato è  $24 \times 60 \times 60 \times 100 = 8.640.000 \text{ J}$  o 8,6 MJ.

Non dobbiamo confondere il kilowatt (kW), un'unità di potenza (lavoro per unità di tempo), con il kilowattora (il cui costo troviamo nella bolletta della luce). Il kilowattora (kWh) è un'unità di energia. Si ottiene moltiplicando la potenza di un kilowatt per il tempo di un'ora ed equivale a 3,6 MJ. Si tratta, quindi, di un'unità che misura quantità di energia maggiori rispetto al joule ed è un po' meno scomoda da usare. L'energia media consumata da una famiglia spagnola che utilizza l'elettricità per l'illuminazione e gli elettrodomestici (esclusi il riscaldamento e l'aria condizionata) è di circa 250 kWh al mese. Se ci aggiungiamo il riscaldamento, l'aria condizionata e la cucina elettrica possiamo arrivare a 500 o anche 1.000 kWh al mese.

Infine, un'unità di potenza nota a tutti ma non facente parte del SI è il cavallo vapore (CV), che ancora oggi utilizziamo per misurare la potenza delle automobili, e che equivale letteralmente alla potenza che era capace di erogare un cavallo percheron. Storicamente, le prime macchine a vapore venivano paragonate a questi forti animali da tiro. Perciò, quando affermiamo che la nostra utilitaria ha cento cavalli, ci stiamo riferendo alla lettera alla capacità di realizzare un lavoro per unità di tempo che sarebbe necessaria a un intero branco di solipedi per tirare la nostra automobile. Pochi maggiorenti del secolo scorso potevano permettersi le scuderie e il foraggio necessari ad alimentare una simile quantità di animali! Un cavallo vapore equivale a 745 watt ( $1CV = 745W$ ).

### **Entropia ed energia oscura**

La formulazione del cosiddetto secondo principio della termodinamica si deve al fisico tedesco Rudolph Clausius (1822-1888), il quale, nel 1865, pubblicò un articolo in cui coniava la parola *entropia* come misura del grado di disordine di un sistema isolato. La seconda legge della termodinamica si può formulare, in modo molto conciso anche se leggermente criptico, come segue: