



Zeno Martini (admin)

ENERGIA: QUALE, QUANTA, DOVE, PER CHI, PER CHE...

15 June 2009

Abstract

Raccolta di alcuni dati sull'energia: consumi usi e risorse. Per pensarci su.

Introduzione

Nessuno ha la ricetta per risolvere facilmente i problemi energetici.

Non ce l'ha e non la ricerca chi ha come unico obiettivo massimizzare i profitti immediati.

Non ce l'hanno nemmeno gli ambientalisti più sinceri, per l'impossibile conoscenza completa della catena dei meccanismi della natura.

Forse non esiste una ricetta.

Non per questo, però, bisogna rinunciare a comprenderli.

Probabilmente è una ricetta che si evolve.

Quindi occorre raccogliere dati ed esporli come sono. Esaminarli alla sola luce delle conoscenze scientifiche, dimenticando ogni ideologia.

Rinunciare a certezze assolute, ma ricercare possibilità concrete.

Pensavo a questo mentre leggevo

Quanta energia ci rimane?



un capitolo del libro in cui *Piorgio Odifreddi* auspica una società razionale basata su conoscenze scientifiche, riservando l'interpretazione religiosa del mondo alla sfera strettamente privata.

Anche Odifreddi ovviamente non possiede la soluzione del problema energetico. Oltretutto non è un vero esperto in questo campo.

Però invita a riflettere.

Ad esempio sul modello di vita Occidentale, civiltà cresciuta esponenzialmente con la scienza e la tecnica, divorando energia; tanto da rendere inevitabile la domanda:

"Quanta energia ci rimane?"

E non tanto prorogabile una risposta.

Il problema energetico è un paradosso per la scienza. Le applicazioni tecnologiche, che hanno indubbiamente migliorato le condizioni di vita, impongono una richiesta crescente di energia mentre usano fonti limitate e decrescenti. In altre parole stanno tagliando l'albero che le sostiene. E non c'è solo questo di paradossale: l'uomo, con la scienza, si è anche costruito la possibilità di autodistruggersi con le armi atomiche. Lo spauracchio, dopo la fine della guerra fredda, è solo rimosso dall'immaginario collettivo, ma la potenza distruttiva nucleare esiste ancora, è più diffusa e molto meno controllabile.

L'evoluzione verso una catastrofe è inevitabile o ci sono possibilità di rimediare?

E' ragionevole mettersi in questa seconda ottica. La scienza è in grado di indicare le strade percorribili ed i vicoli ciechi, mentre la ragione, che guida la scienza, dovrebbe riuscire ad imporre il rispetto reciproco tra i popoli smantellando definitivamente il pericolo atomico.

Chissà...

Questo articolo

come detto, raccoglie alcuni dati. Non è di sicuro un elenco esauriente, anzi. Ce ne sono molti, troppi per un singolo. Non è per niente facile selezionarli e classificarli. Sembra non esistere un contenitore adeguato e quello usato appare pieno di buchi. Spero che possa essere un punto di partenza per estensioni ed approfondimenti, a cominciare dai links proposti.

Vorrebbe anche essere un invito

per i visitatori, ad inviare eventualmente i loro contributi mediante [ElectroYou](#), oltre che a segnalare inesattezze o diversità. Saranno anche gradite segnalazioni di links,

libri, pubblicazioni, suggerimenti o notizie da aggiungere perché, in ogni caso, questo è un articolo dinamico che, spero, si arricchisca di ulteriori dati.

Sarà un appello probabilmente inascoltato: ma tentar non nuoce...



Le unità di misura

Le quantità in gioco sono enormi. I numeri con cui si ha a che fare sono potenze di dieci elevate. Hanno un nome e un simbolo che si può trovare nella [tabella di questo link](#). Giga, Tera, Peta, Exa cioè miliardi, bilioni, biliardi, trilioni. (Non si arriva ai fantastiliardi di Paperone, ma si va ben avanti...)

Alla difficoltà di assimilare numeri di grandezza inumana, si aggiunge quella delle unità di misura spesso usate. Sarebbe meglio usare sempre e solo il joule (J), ma per rendere meno astratto il numero, si fa ricorso ai *megatoe* o *megatep* (**Mtoe**, **Mtep**) o ai *gigatoe* o *gigatep* (**Gtoe**, **Gtep**)

1 Mtoe è la quantità della risorsa necessaria per produrre l'energia ottenibile da un milione di tonnellate di petrolio (**M**illion **T**ons of **oil** **e**quivalent), quindi un miliardo di chilogrammi di petrolio.

- NB: **Mtep** (Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) = **Mtoe**
- $1\text{Gtoe} = 10^3 \text{Mtoe}$

Già che ci siamo aggiungiamo il

- **boe** (barile di petrolio equivalente) corrispondente al contenuto energetico di un barile di petrolio. Un barile corrisponde a 158,987294928 litri. Quindi, assumendo come peso specifico del petrolio un valore medio di 0,9 kg / litro, un barile contiene ne 143 kg. Avremo allora:

$$1 \text{ Mtoe} = \frac{10^9}{143} = 7 \times 10^7 \text{ boe}$$

Considerando per 1 kg di petrolio un *potere calorico* di

$$10^4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}, \text{ cioè } 41,86 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 11,6 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

si ha:

$$1 \text{ Mtoe} = 1,16 \times 10^{10} \text{ kWh} = 11.600 \text{ GWh} = 11,6 \text{ TWh} = 41,76 \text{ PJ}$$

(A parole: un megatoe è uguale ad undici virgola 6 miliardi di kilowattora, cioè undicimilaseicento gigawattora, quindi undici virgola sei terawattora)

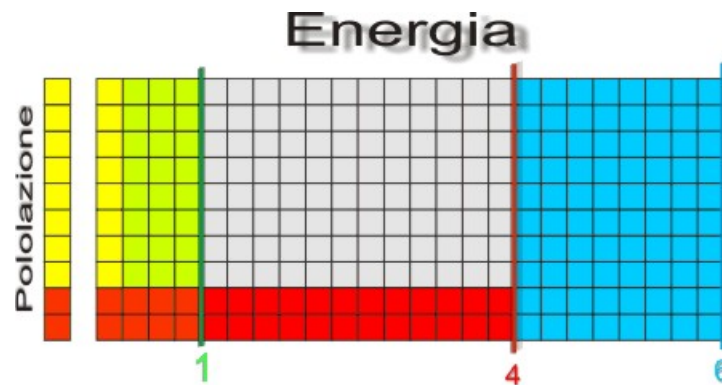
Nota importante: per misurare l'energia di un'esplosione si usa il megaton (**Mt**)

1 Mt corrisponde all'energia sviluppata dall'esplosione di un *milione di tonnellate di tritolo*. Si ha:

$$1 \text{ Mt} = 4,2 \times 10^{15} \text{ J} = 4,2 \text{ PJ} = 0,1 \text{ Mtoe}$$

Conoscere con precisione l'arsenale atomico mondiale è difficile, ma sicuramente sono pronte 20.000 testate nucleari ed è come se, ad ogni abitante del pianeta, fosse riservata almeno una tonnellata di tritolo. Un potenziale più che sufficiente per cancellare l'uomo dalla terra.

Chi la consuma



Fabbisogno energetico

Il 20% della popolazione mondiale consuma, attualmente, l'80% dell'energia disponibile. I quadratini rossi e gialli rappresentano i consumi dei due insiemi di popolazione, (in unità "quadrato": circa 275 Mtoe): 8 quadratini gialli per l'80%, 32 quadratini rossi per il 20%. In totale 40 "quadrati di energia". Se n è il numero di persone che fa parte del 20%, il numero di persone che fa parte dell'80% è $4n$. Chi fa parte del 20% consuma $\frac{32}{n}$ quadratini; chi fa parte dell'80% $\frac{8}{4n} = \frac{2}{n}$; quindi il primo consuma $\frac{\frac{32}{n}}{\frac{2}{n}} = 16$ volte di più del secondo. In media ovviamente perché all'interno di questo 20% c'è chi consuma molto di più, come all'interno dell'80%, chi consuma molto di meno.

Nell'ipotesi (non verificata) di crescita demografica zero:

Per un consumo equamente distribuito ognuno deve disporre $\frac{40}{5n} = \frac{8}{n}$ quadratini, cioè l'attuale 20% deve rinunciare a $\frac{24}{n}$ quadratini, cioè a tre quarti dell'energia di

cui ora dispone per quadruplicare la disponibilità del restante 80%. Una recessione inammissibile.

Per portare tutti allo stesso livello dell'attuale 20%, (e per questo 20% ciò corrisponde ad un indice di crescita zero: uno spauracchio per gli economisti) sono necessari $\frac{32}{n} \cdot 5n = 160$ quadratini: l'energia consumata deve quadruplicare.

Se il 20%, nel periodo in cui si desidera il pareggio, non può accettare una crescita zero, l'energia disponibile deve aumentare. Se l'aumento in un determinato intervallo di tempo è del 50%, il fabbisogno di energia deve sestuplicare.

Se nel frattempo la popolazione aumenta il fabbisogno deve seguirla proporzionalmente.

Riepilogando: o l'energia c'è e la si ha disponibile non appena la si richiede, ed il problema non esiste; oppure qualcuno deve rinunciare alla crescita od accettare una crescita inferiore a quella desiderata o a cui è abituato. Il problema è stabilire chi deve rinunciare od accettare. Logica vorrebbe che non dovrebbe essere chi non ha. Potrebbe essere proprio questo il problema maggiore perché per esso la scienza non ha strumenti efficaci di soluzione.

Quanta se ne consuma

Per tutti gli usi

Il totale dell'energia consumata in un anno nel mondo è stato, nel 2004, di:

$$C_{ma} = 11.059 \text{ Mtoe} = 11 \text{ Gtoe}$$

quindi

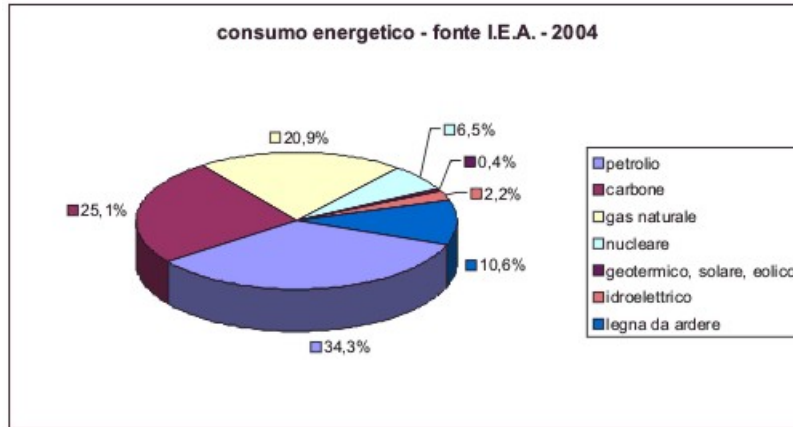
$$\begin{aligned} C_{ma} &= 11.059 \times 11,6 \cdot 10^{12} = 128 \times 10^{15} = 1,28 \times 10^{14} \text{ kWh} = 128 \text{ PWh} = \\ &= 128 \times 10^{15} \times 3,6 \times 10^3 = 461 \times 10^{18} \text{ J} = 461 \text{ EJ} \\ &\text{(centovetotto petawattora, quattrocentosessantuno exajoule)} \end{aligned}$$

La potenza media sviluppata nel mondo è dunque

$$P_m = \frac{461 \times 10^{18}}{365 \times 24 \times 3600} = 1,5 \times 10^{13} \text{ W} = 15 \text{ TW}$$

(quindici terawatt)

Il grafico mostra come sia distribuito tra le diverse risorse disponibili.



Suddivisione energetica

Per l' energia elettrica

Nel 2004 l'energia elettrica prodotta è stata di $14 \text{ PWh} = 1.207 \text{ Mtoe}$ (quattordici petawattora, milleduecentosette megatoe).

Per produrre **1 kWh** di energia elettrica bisogna in realtà consumare $\frac{1}{\eta} \text{ kWh}$ di energia da una fonte primaria, essendo η il rendimento della centrale.

Considerando un $\eta = 0,35$ si ha allora che per l'energia elettrica sono state consumate $\frac{1207}{0,35} = 3.448 \text{ Mtoe} = 3,5 \text{ Gtoe}$

Quindi **un terzo** del totale.

In Italia

L'energia elettrica richiesta dall'Italia nel 2008 è stata di

$$W_{a,el,it} = 340 \text{ TWh.}$$

Corrisponde ad una potenza media di

$$P_{m,el,it} = \frac{340 \times 10^{12}}{365 \times 24} = 38,8 \text{ GW}$$

La potenza elettrica installata in Italia è di **70 GW** ed il picco raggiunto di **55 GW**.

Ecco il [grafico del fabbisogno in Italia in tempo reale](#)

Nota: $W_{a,el,it} = 340 \text{ TWh}$ sono l'energia elettrica prodotta, ma, come già osservato, occorre considerare il rendimento delle centrali. Ipotizzando un 40% la energia primaria consumata è di

$$C_{a,el,it} = \frac{W_{a,el,it}}{11,6} \times \frac{1}{0,4} = 72,5 \text{ Mtoe}$$

Quanta ce n'è

La risorsa energetica possiamo distinguerla in non rinnovabile e rinnovabile.

La rinnovabile è quella la cui disponibilità, allo scadere di ogni periodo di consumo, su una scala temporale umana, può considerarsi costante.

Attualmente si sta usando, per il 90%, quella destinata ad esaurirsi, quindi la

non rinnovabile

le cui principali esponenti sono:

Petrolio

Le risorse "accertate" sono di 150 Gtoe. Il consumo annuale è $P = 0,343 \times C_{ma} = 0,343 \times 11 = 3,8 \text{ Gtoe}$, il che significa che, indicato con R le riserve accertate, fra $\frac{R}{P} = \frac{150}{3,8} = 39$ anni il petrolio sarà esaurito.

C'è a questo proposito da osservare che è da parecchie decine di anni che quel rapporto rimane costante: era 40 anche quarant'anni fa. C'è dunque chi ritiene non ci sia motivo di preoccuparsi perché significa che o nuovi giacimenti vengono trovati o nuove risorse rimpiazzano il petrolio. Come al solito sarà quel che succederà a stabilire la verità

Gas naturale

Anche per il gas naturale le riserve accertate corrispondono a 150 Gtoe.

Durerebbe un po' di più di 39 anni perché se ne consuma meno, ma tutto sommato si tratta di pochi anni, tanto più che, finito il petrolio...

Carbone

ce n'è di più: circa 5 volte il petrolio. Se ne consumano $0,25 \times 11 = 2,75$ Gtoe, quindi, al ritmo attuale di consumo durerebbe $\frac{700}{2,75} = 254$ anni. Ma finito il petrolio ed il gas...

Uranio

Al ritmo attuale di utilizzo ce ne sarebbe per 80 anni di uranio 235 per i reattori attualmente in funzione.

Ma finito il petrolio ed il gas...

Molto di più (50 o 100) ce ne sarebbe di uranio 238 per i nuovi reattori "autofertilizzanti" che sono ancora da realizzare.

Rinnovabile*Solare*

Possiamo senz'altro dire che è la rinnovabile per eccellenza, semplicemente osservando che è la fonte di energia da cui derivano tutte le altre, combustibili fossili compresi. Il problema è comunque come utilizzarla "in tempo reale" perché, essa non arriva concentrata e costante nei punti in cui la vorremmo, ma distribuita indifferentemente e fluttuante su tutta la superficie terrestre.

La potenza che arriva sulla superficie terrestre dal sole è

$$P_{st} = 58 \text{ PW}$$

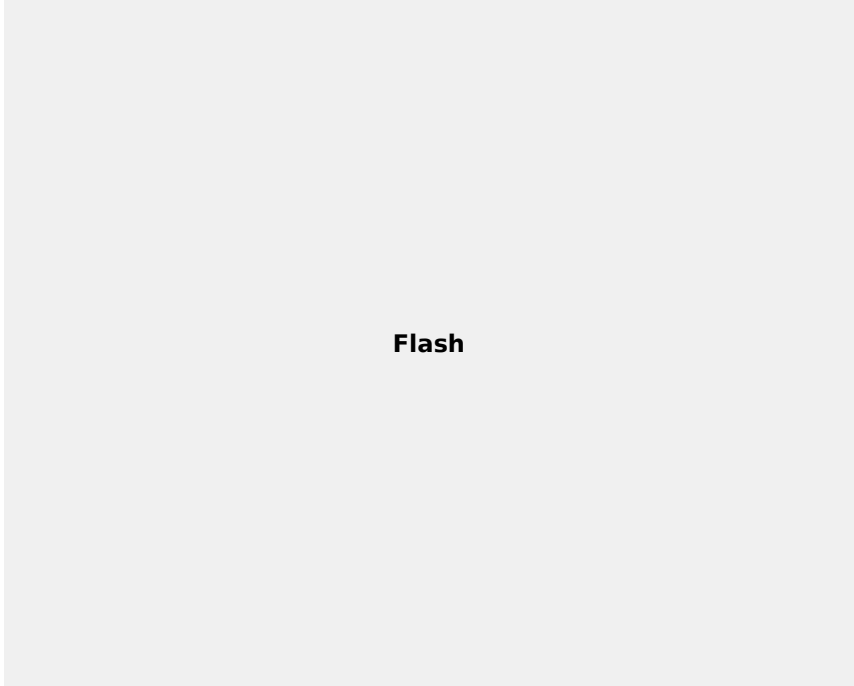
L'energia che arriva annualmente è perciò:

$$W_{ast} = 58 \times 10^{15} \times 365 \times 24 \times 10^{-3} = 5,3 \times 10^{17} \text{ kWh}$$

Un valore circa **quattromila** volte superiore a quella consumata, quindi un'energia pari a 66.000 Gtoe = 66 Ttoe

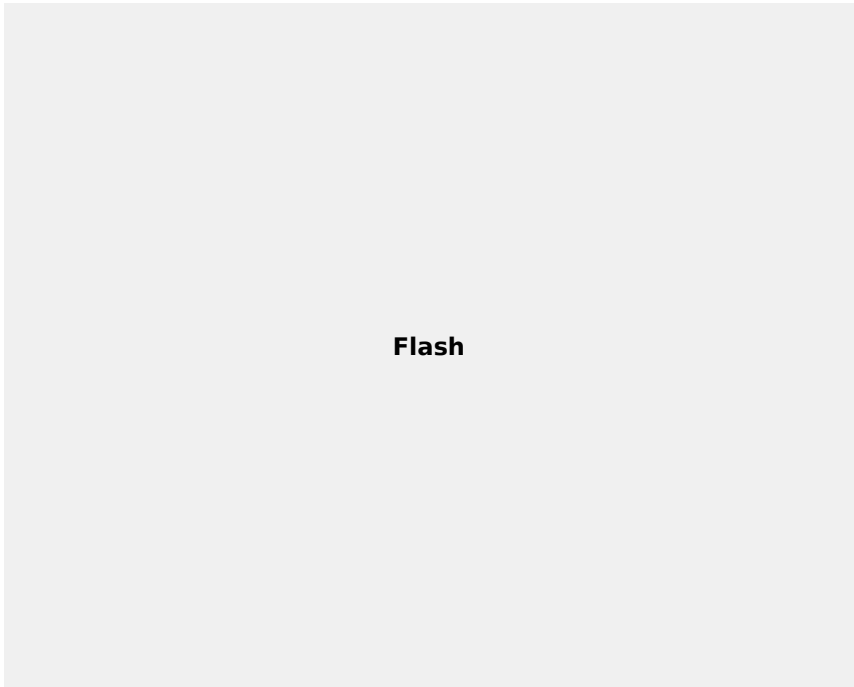
Questa è quella che arriva effettivamente sulla superficie terrestre. Quella intercettata dalla terra, al di fuori dell'atmosfera, è tre volte superiore, quindi 132.000 Gtoe. Per il calcolo vedi in appendice

Centrale fotovoltaica



Flash

Torre solare



Flash

Eolica

Non è facile stabilire quanto sia la potenza eolica disponibile. L'energia eolica è l'energia meccanica associata allo spostamento di grandi masse di aria nell'atmosfera, prodotto dall'energia termica del sole che deriva direttamente

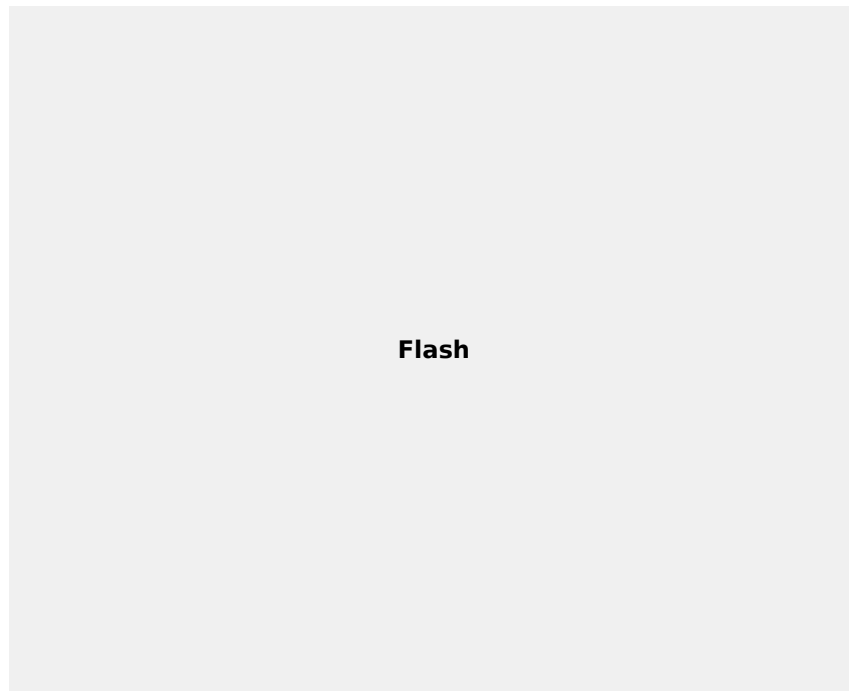
dall'energia termica del sole. La potenza totale del vento totale è compresa fra i $1,7 \div 3,5$ PW. L'energia del vento non è distribuita uniformemente. Si concentra in prevalenza negli strati alti della troposfera alle latitudini centrali dei due emisferi. A circa 10.000 m di quota le velocità medie del vento possono superare 45 metri/secondo (equivalenti a 162 chilometri/ora).

Le attuali torri eoliche ne intercettano l'energia ad 80 m dal suolo dove la velocità media è stimata in $4,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ cui corrisponde una potenza specifica di $58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Per l'Italia ci sono studi che ne stabiliscono il valore di energia eolica annualmente disponibile con le normali torri eoliche in 70 TWh

Ci sono poi sperimentazioni in corso (Vedere il sito [KiteGen](#)) per intercettare l'energia eolica all'altezza di 800 m dove la velocità del vento mediamente è di $7,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ cui corrisponde una potenza specifica di $205 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Torri eoliche



Realizzazioni significative

[Kolby Kas - Danimarca](#)

Appendice

Calcolo dell'energia solare

Si calcola la potenza irradiata dal sole o con il metodo della costante solare o con la legge del corpo nero.

Si trova un valore

$$P_i = 3,8 \times 10^{26} \text{ W}$$

Di tale energia solo una piccola parte viene intercettata dalla terra, quella che attraversa una sua sezione diametrale ortogonale alla congiungente terra-sole che, essendo il raggio terrestre pari a

$$r = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$$

vale

$$S = \pi r^2 = 1,27 \times 10^{14} \text{ m}^2$$

quindi la potenza intercettata al di fuori dell'atmosfera è

$$P_i = I_{cs} \times S = 1367 \times 1,27 \times 10^{14} = 1,74 \times 10^{17} \text{ W} = 174 \text{ PW}$$

Sulla superficie terrestre ne arriva circa un terzo

$$P_{st} = 58 \text{ PW}$$

La potenza irradiata dal sole si può calcolare in due modi:

Costante solare misurata

Indicata con

$$I_{cs} = 1,367 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

la costante solare, potenza misurata all'esterno dell'atmosfera terrestre quando la distanza della terra dal sole è

$$d = 1,495 \times 10^{11} \text{ m}$$

la potenza irradiata da sole è calcolabile moltiplicando la costante per la superficie di una sfera che ha raggio pari alla distanza terra-sole:

$$P = 4 \times \pi \times d^2 \times I_{cs} = 3,84 \times 10^{26} \text{ W}$$

Legge del corpo nero

$$P = \sigma T^4$$

P : potenza emessa per unità di superficie $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$

T : temperatura della superficie (K)

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$: costante di **Stephan-Boltzmann**

La potenza irradiata dalla superficie solare è allora, essendo

$T = 5800 \text{ K}$ la temperatura della fotosfera

$R = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$ il raggio del sole

$$P_i = \sigma \times 5800^4 \times 4\pi 6,96^2 \times 10^{16} = 3,9 \times 10^{26} \text{ W}$$

L'energia irradiata annualmente è allora

$$W_a = P \times 365 \times 24 \times 3600 = 1,21 \times 10^{34} \text{ J} = 3,36 \times 10^{27} \text{ kWh}$$

Consumi particolari

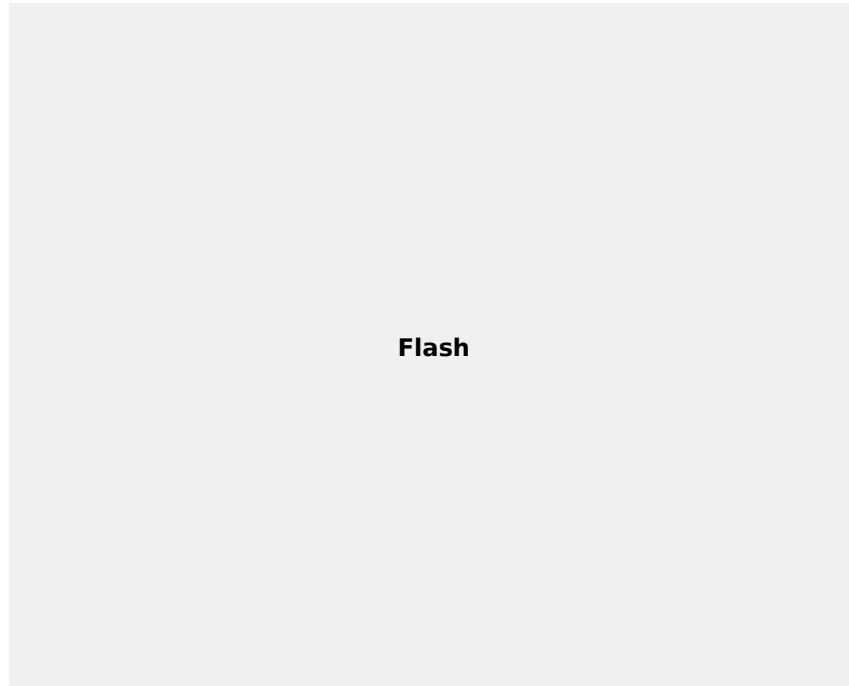
- Consumo di un **SUV** (*Porsche Cayenne V8*): $0,15 \frac{\text{l}}{\text{km}}$
- Consumo di un **Tornado**: $6 \frac{\text{l}}{\text{km}}$
- Consumo di un **Boeing 747**: $15 \frac{\text{l}}{\text{km}}$

Tanto per fare un confronto: un maratoneta sviluppa durante la sua corsa una potenza dell'ordine di **200 W**, quindi consuma per la gara che dura due ore, **400 Wh = 0,4 kWh**. Un litro di petrolio sono **11,6 kWh**, quindi per l'intera gara di **42 km**, consuma l'equivalente di $\frac{0,4}{11,6} = 0,035$ litri, quindi il

- consumo di un **maratoneta** è di $\frac{0,035}{42} = 0,8 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{km}}$ (meno di un millilitro a chilometro)

Effetto farfalla

E' stato detto che è difficile conoscere in modo completo i meccanismi che regolano l'equilibrio della natura, il sistema più complesso che conosciamo. Per i sistemi complessi esiste l'effetto farfalla: "una farfalla sbatte le ali a Pechino ed un uragano investe New York". Una metafora dell'imprevedibilità delle conseguenze di un evento, anche apparentemente insignificante, come illustrato, scherzosamente, in questo video:



Bibliografia e links

- [Statistical review of world energy](#)
- [Fonti energetiche -Wikipedia](#)
- [Risorse e consumi - Wikipedia](#)
- [fonti primarie - Università di Parma](#)
- [Energia elettrica prodotta nel mondo](#)
- [Energia Elettrica in Italia - Wikipedia](#)
- [TERNA marzo 2009](#)
- [Aspoitalia](#): un blog da seguire
- [Dati sul vento](#)
- [Potenziale Eolico Italiano](#)
- [Atlante eolico dell'Italia](#)
- [Rivista Wind Energy](#)
- [HOME - La terra vista dall'alto](#): un film con immagini HD molto belle.

- [Il potere nucleare](#): un libro di parte, ma su un problema su cui c'è poco da scherzare.

P.S.

Su segnalazione di [mir](#) ecco una interessante [Discussione radiofonica](#) che evidenzia, se ce ne fosse bisogno, la complessità dei problemi.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Admin:articolo32>"