

Energia: passato, presente, futuro.

Giorgio Immirzi, già Dip.di Fisica, Università di Perugia e I.N.F.N., sez. di Perugia.

giorgio.immirzi@pg.infn.it

Risparmiate la mano che macina, o mugnaie, e dormite

Dolcemente! Invano il gallo vi annunci il mattino!

....in circolo ruotino le mole della pietra che gira...

Viviamo la vita dei padri, rallegriamoci, liberi dalla fatica,
dei doni che la Dea ci porge, (etc.etc.)

(Antipatro, ca. 30 A.C. decanta l'invenzione della mola ad acqua)

Gli anni passano, ma qualcuno che decanta si trova sempre. Per es.:

E' chiaro dunque che la razza umana ha un disperato bisogno di trovare
una strategia di uscita dall'era del petrolio, una soluzione capace di
garantire alla civiltà un futuro.

...bla, bla,...

Siamo dunque in procinto di vivere una terza rivoluzione industriale

E di entrare in una nuova era energetica: l'idrogeno è il nostro comune
futuro, (etc.etc.)

(Jeremy Rifkin)

Meccanica

Lavoro \equiv Forza x Spostamento =

$$= (\text{Energia cinetica})_{\text{dopo}} - (\text{Energia cinetica})_{\text{prima}} =$$

$$= \left(\frac{1}{2} M v^2\right)_{\text{dopo}} - \left(\frac{1}{2} M v^2\right)_{\text{prima}}$$

Per forze ‘conservative’:

$$\text{Lavoro} = (\text{Energia potenziale})_{\text{prima}} - (\text{Energia potenziale})_{\text{dopo}}$$

Quindi:

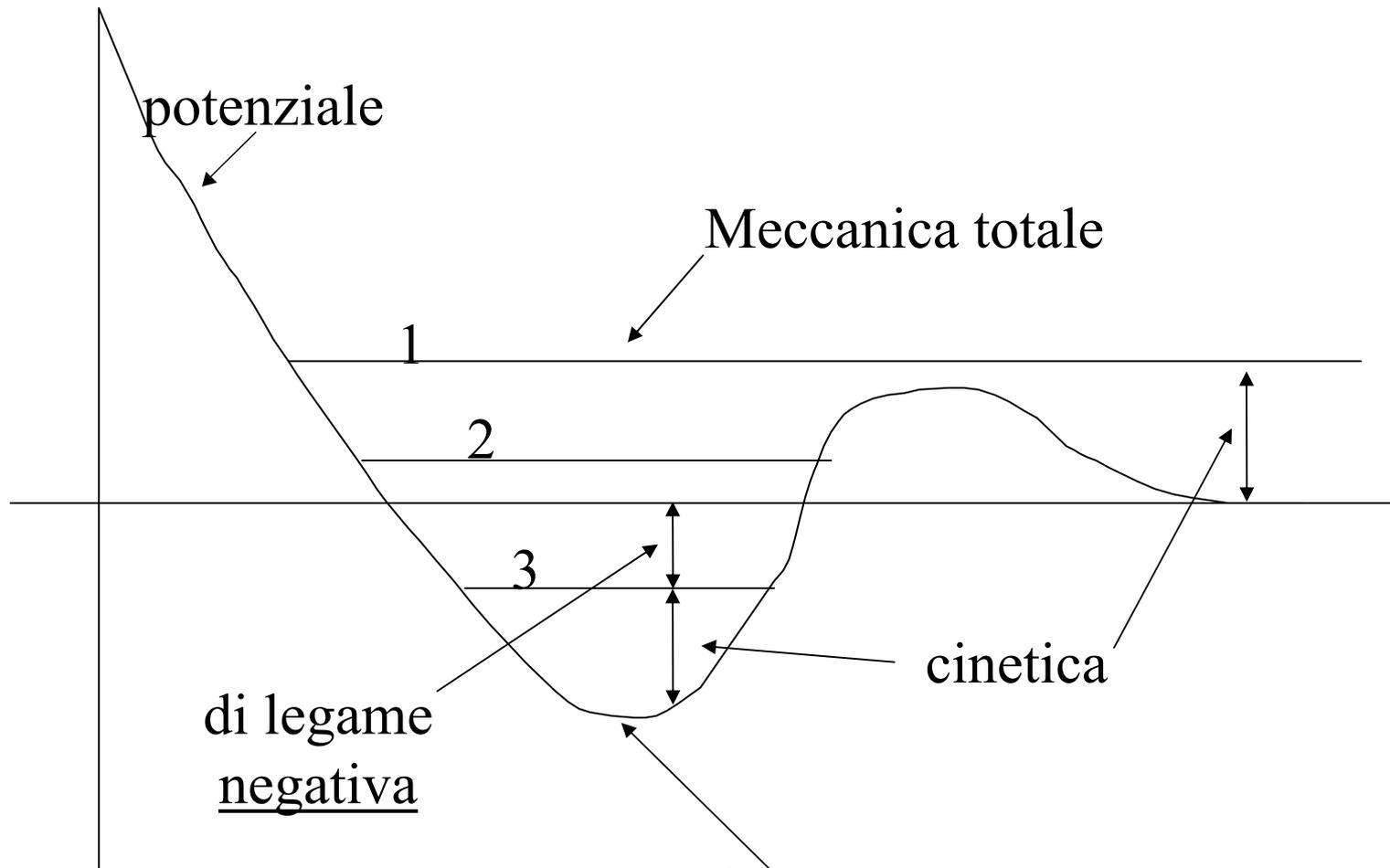
‘Energia meccanica tot.’ = En. cin. + En. pot. = costante



Qui l'energia potenziale è Mgh
(Massa x ($g=9.8 \text{ m/s}^2$) x altezza); quando
il corpo cade si trasforma in energia
cinetica $\frac{1}{2} M v^2$; il totale è costante.

L'energia cinetica è sempre **positiva** (alla peggio, 0);
e quindi, tre situazioni-tipo:

Energia



Dal fondo non ci si risollewa.
Serve un po' di energia cinetica

Definizioni e unità di misura

- La **forza** si misura in ‘**Newton**’; 1 Newton imprime a 1 kg di massa 1 m/s² di accelerazione.
- Il **lavoro**, e quindi l’**energia** si misurano in ‘**Joule**’
1 Joule=1 Newton per 1 metro di spostamento. Anche però in decine di altre unità: **kcal, eV, kWh, BTU, tep,....**
1 kilocaloria (kcal)= 4.186 kiloJoule (kJ)
- La **potenza** è quanto lavoro viene fatto nell’unità di tempo. Si misura in ‘**Watt**’: 1 Watt = 1 Joule/secondo. Oppure in: HP, kcal/h, kilotoni, ...

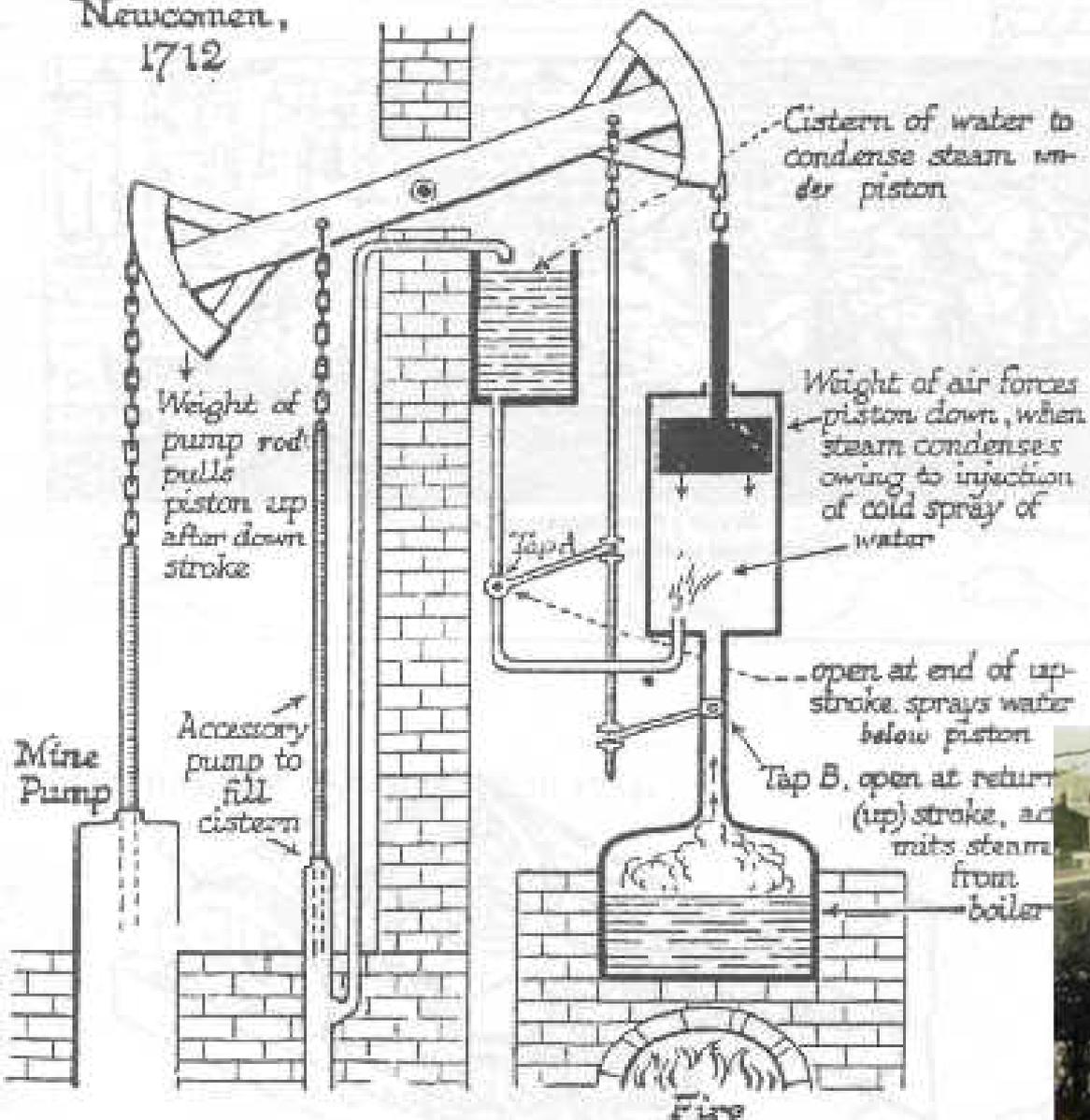
Queste cose i padri della meccanica, Newton, Leibniz, etc. (~1700) le sapevano benissimo. Non in questa forma, e con parole diverse (la parola 'energia' compare nel 1807; nei Principia di Newton non c'è una sola formula), e certo senza apprezzarne tutte le conseguenze.

Pensavano piuttosto alle stelle e ai pianeti.

Nel frattempo in Cornovaglia, **Thomas Newcomen**, di professione fabbro/meccanico, contemporaneo di Newton, ma con le idee molto più confuse, sente parlare della **pressione atmosferica**, e decide che è una gran bella idea, e che va sfruttata. Tutta questa pressione, pensa, che preme preme; non potrebbe invece fare qualcosa di buono?

Prova e riprova, infine inventa la 'macchina filosofica':

Newcomen,
1712



DIAGRAMMATIC VIEW OF NEWCOMEN'S ATMOSPHERIC OR FIRE ENGINE (1712)

La macchina di Newcomen. Serviva a pompare acqua fuori dalle miniere di carbone, sostituendo i somari.



I contemporanei non ci fanno molto caso, e continuano a pensare alle stelle e ai pianeti.

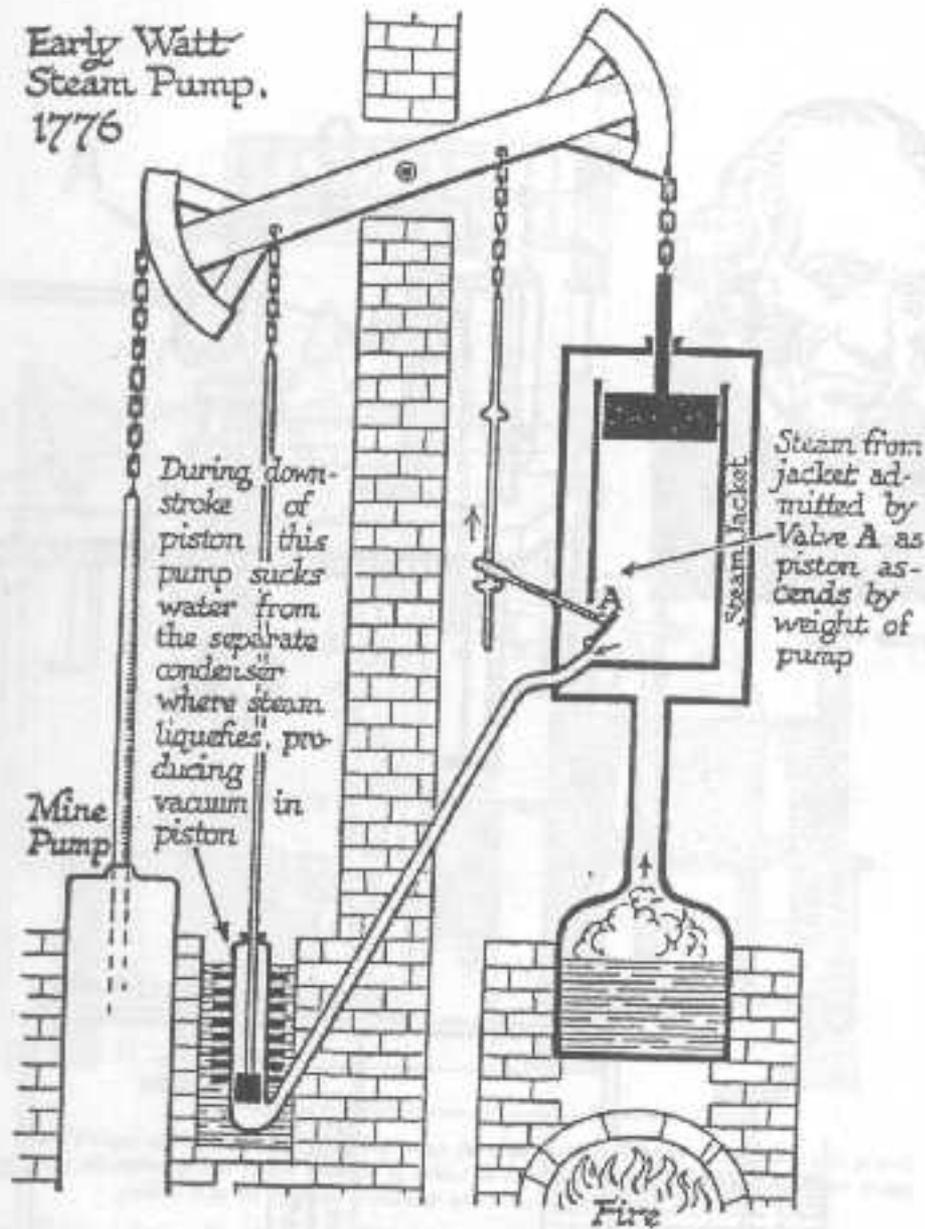
I padroni delle miniere apprezzano, ma si lamentano che le macchine di Newcomen saranno sì ‘atmosferiche’, o ‘filosofiche’, ma consumano tanto carbone.

Una cinquantina di anni dopo un altro meccanico, lo scozzese **James Watt**, in società con l'industriale di Birmingham **Matthew Boulton**, trova il modo di migliorare nettamente il rendimento della macchina.

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{profitto in lavoro meccanico}}{\text{costo in carbone}}$$

All'epoca, al di sotto della dignità di un vero scienziato.

Early Watt
Steam Pump.
1776



AN EARLY WATT MODEL (DIAGRAMMATIZED)

La prima macchina di Watt



Boulton, Watt e Murdock,
(inventore dell'illuminazione
a gas; anzitutto per la
fabbrica di Boulton e Watt)

Boulton e Watt fanno un bel po' di soldi; ma ancora gli intellettuali non ci fanno molto caso. Il Dr. Johnson, di passaggio da Birmingham con il fido Boswell, viene invitato a visitare la fabbrica di Boulton e Watt, ma decide invece di fare un pisolino, e ci manda Boswell, che (anima romantica) resta debitamente impressionato.

Watt inventa la macchina a doppia azione, in cui il vapore viene usato per **spingere** il cilindro, e la **biella** (1782).
(esempio: la **macchina di Stirling** (che però è posteriore))
Il vapore entra nelle fabbriche tessili, e diventa difficile ignorare che è partita la rivoluzione industriale.
Fuori dai grandi giri, ci sono intellettuali che se ne rendono conto. Per es. a Glasgow, a Birmingham stessa:

La figura più famosa della ‘Scottish renaissance’ è **Adam Smith**, che inventò la moderna scienza dell’economia. Il rev. Robert Walker era invece un fine teologo.



A Birmingham la ‘lunar society’ si riuniva ogni mese nella modesta casa di Matthew Boulton,.





Nel 1824 **Sadi Carnot**, figlio del grande ingegnere Lazare Carnot, pubblica le **‘Réflexions sur la puissance motrice du feu, et sur le machines propres a développer cette puissance’**. Non ha nessun seguito immediato. La ricerca fisica si imballa sul problema della natura del calore.

Nel 1840 **Julius Mayer**, medico a bordo di una nave a Java, salassando i marinai, nota che nel clima caldo il sangue venoso ha più o meno lo stesso colore di quello arterioso. Per improvvisa illuminazione capisce che il sangue porta **energia** ai muscoli, e intuisce che l'**energia** viene primariamente dal sole, assorbita dalle piante, passata agli animali, mangiata. In patria studia fisica, e pubblica le sue idee nel 1842 e 1845, **‘Bemerkungen über die Kräfte der umbeleten Natur’**.

Nessuno fa caso alla ‘improvvisa illuminazione’ di Meyer.
Ma l’idea era nell’aria.

Nello stesso periodo, **James Prescott Joule** misura l’equivalente meccanico della caloria.

Hermann Helmholtz (anche lui medico) formula compiutamente il principio di conservazione dell’energia (1847). **Rudolf Clausius** conclude l’opera e stabilisce i due principi della termodinamica (1850). Tutti questi passeranno poi anni a litigare sulla priorità.

La ricerca successiva si intreccia con il dibattito sulla teoria atomica, negata da Ostwald, Helmholtz, Mach, propugnata da Clausius, Maxwell, Boltzmann, Avogadro... Questione che si chiude nel **1905**, con le leggi del moto Browniano di Einstein.

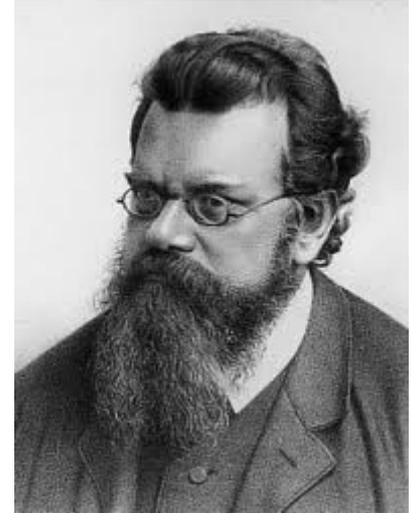
La conclusione è che il **calore** è l'energia di agitazione termica dei costituenti della materia (atomi e molecole).

Ciascuno ha, mediamente, un'energia cinetica $\sim k_B T$

k_B = costante di Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$

T = temperatura assoluta = $t + 273$ 'gradi Kelvin'

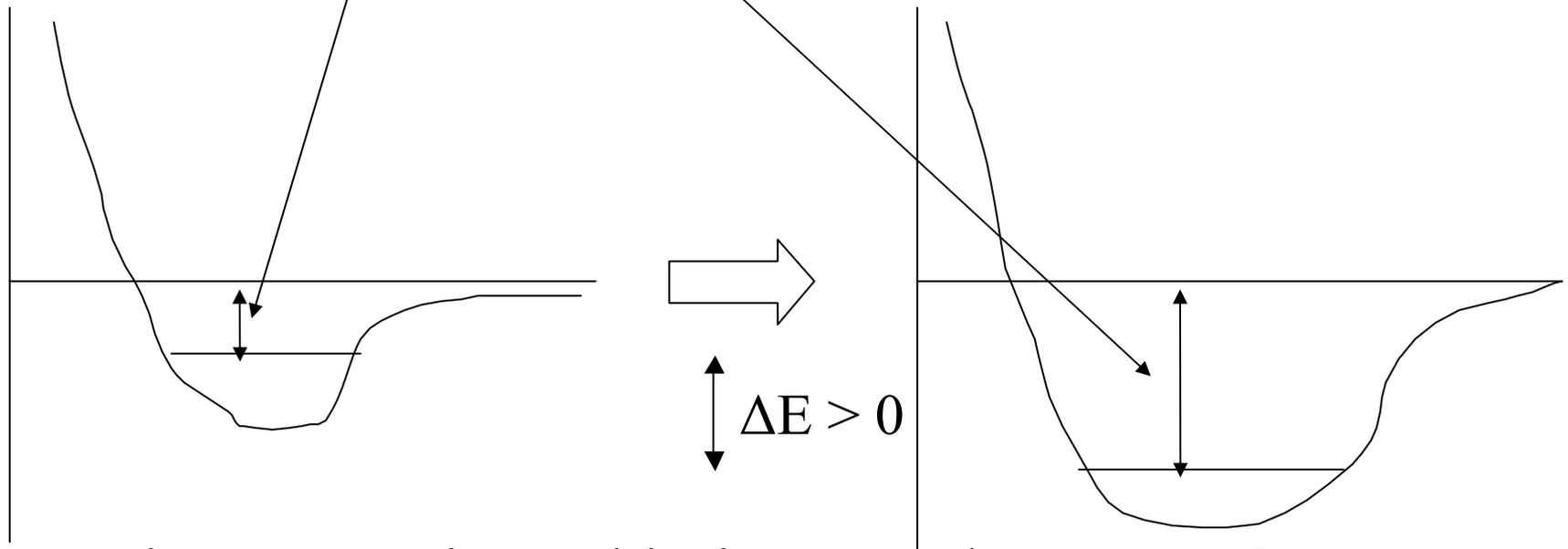
Ludwig Boltzmann



Le onde elettromagnetiche trasportano energia. Per es., la radiazione solare ha una intensità $I_{\odot} \approx 1360 \text{ W/m}^2$.

(che intensità serve perché un telefonino 'prenda'?
Segreto industriale)

L'**energia di legame**, che lega per es. un atomo a una molecola, un elettrone a un atomo, un nucleone in un nucleo, è **sempre negativa**: devo dare io energia per dissolvere il legame e permettere all'atomo, etc., di andarsene.



Invece in una reazione chimica o nucleare **guadagno** energia se vado da uno stato **poco** legato a uno **più** legato.

carbonio+ossigeno \rightarrow anidride carbonica +33.9 MJ/kg
idrogeno + ossigeno \rightarrow acqua +120 MJ/kg

qualche esempio

Una Toyota Corolla di massa $M=1200$ kg, potenza 71 kW, va da $v = 0$ a 100 km/h = 27.8 m/s in $t=12$ s. Quindi il motore eroga in

media solo
$$\frac{\frac{1}{2} M v^2}{t} = \frac{463000}{12} = 38.6 \text{ kW}$$

In una centrale idroelettrica la fonte di energia è l'energia potenziale dell'acqua nel bacino, $E=M g h$ ($g=9.8$ m/s², h la caduta). Due tonnellate di acqua, con $h=200$ m, danno, bene che va: $2000 \times 9.8 \times 200 = 3920$ kJ = 1.09 kWh (≈ 0.15 €)

$$1 \text{ kWh} = 1000 \times 60 \times 60 \text{ J} = 3600 \text{ kJ} = 860 \text{ kcal}$$

Per scaldare di 1 °C un kg di acqua ci vuole 1 kcal = 4.186 kJ

Per farsi un bagno (50 kg) x (30 °C) x $4.186/3600 = 1.74$ kWh

(ma e' il caso di lavarsi lo stesso)

Dopo il 1850 l'idea di 'energia' si diffonde rapidamente; una certa confusione rimane (per es. K. Marx nel 1867 confonde allegramente 'forza' e 'energia' e 'potenza'; l'idea di 'fonte di energia' sembra essergli ignota). La parola viene usata in contesti sempre più esoterici. In fisica il principio di conservazione dell'energia è totalmente accettato e molto raramente messo in dubbio. Einstein riteneva i principi della termodinamica quella parte della fisica meno suscettibile di revisione.

Le fonti di energia dell'epoca sono in prevalenza il carbone, e l'idraulica. Che io sappia, a nessuno passa per la testa che il carbone possa finire.

Nel 1859 viene però perforato il primo pozzo di petrolio, e **J. D. Rockefeller** fonda la Standard Oil nel 1870.

Rudolf Diesel brevetta il suo motore nel 1892; dall'inizio del secolo si comincia a trovare petrolio in Medio Oriente, e tra gli altri **Calouste Gulbenkian** mette su varie compagnie per sfruttarlo, come la Royal Dutch-Shell, trattenendo per se un

modesto 5%. Dietro la romantica figura di T.E. Lawrence le grandi potenze organizzano la colonizzazione della regione.

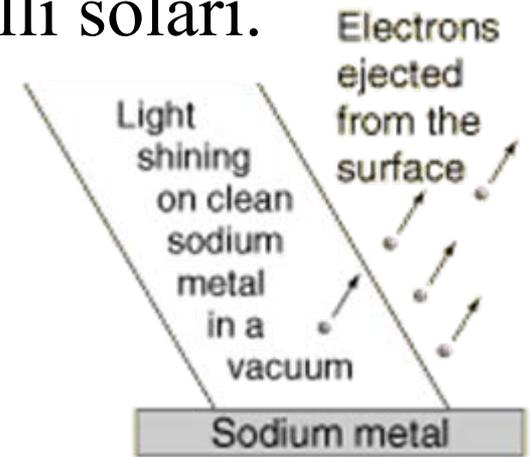
L'**energia** è diventata una preda.
Progressivamente, sempre più **la** preda.



Nello stesso periodo nasce e si sviluppa rapidamente l'industria elettrica, dopo l'invenzione della lampadina (1879) da parte di **T. A. Edison**.
In Italia G. Colombo fonda la prima società elettrica nel 1881.

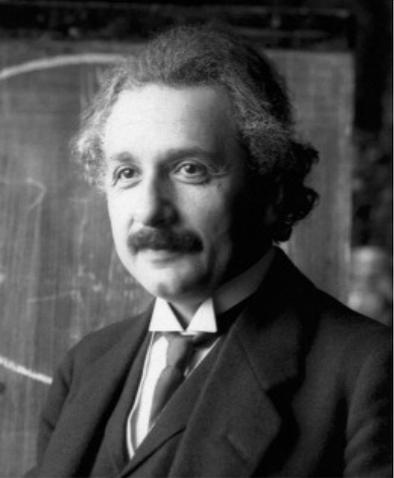
La fisica viene rivoluzionata nei primi anni del '900.
Nel 1905 Einstein interpreta l'effetto fotoelettrico, che oggi ci interessa molto particolarmente per i pannelli solari.

La luce viene interpretata come composta da **'fotoni'**, particelle di energia $E = h \nu$
($h =$ costante di Planck $= 6.63 \cdot 10^{-34}$ J s)



Nello stesso anno il giovane Albert formula la teoria della Relatività. Tra le straordinarie conseguenze della teoria, l'espressione per l'energia di una particella

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \dots$$



quanta energia serve?

A livello personale, neanche tanta.

Uno come me consuma mediamente ≈ 100 W.

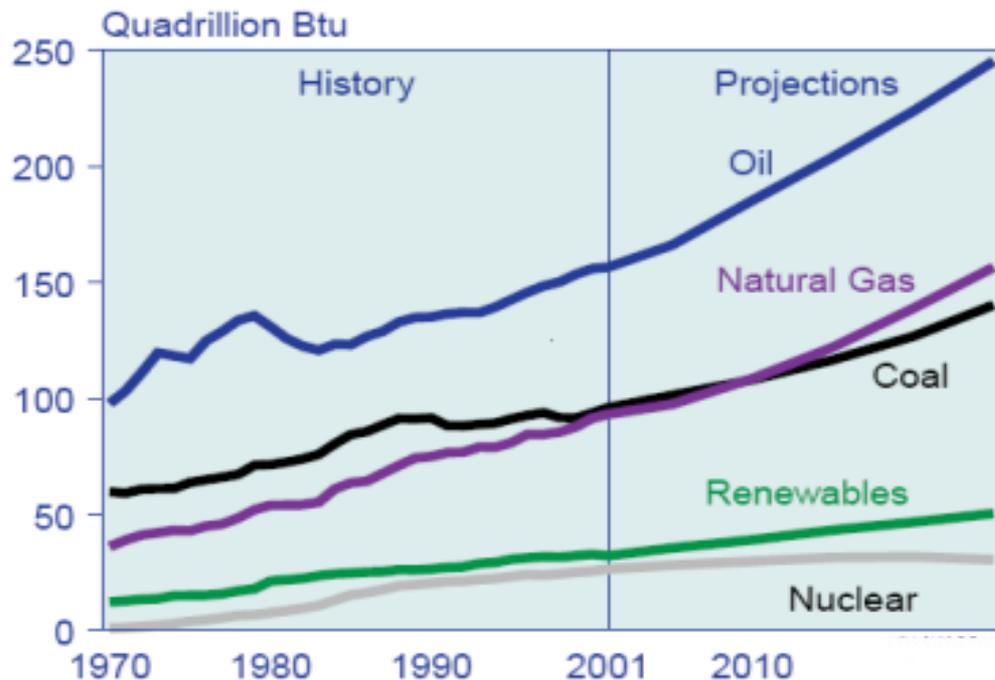
Al giorno: $100 \times 60 \times 60 \times 24 = 8640$ kJ ≈ 2000 kcal.

Consumerei di più se facessi qualche cosa, fino a ≈ 400 W.



Ma 100 g di pasta all'uovo forniscono 366 kcal ≈ 1549 kJ = energia cinetica se scagliati a 5566 m/s.

Quanta energia consumiamo?

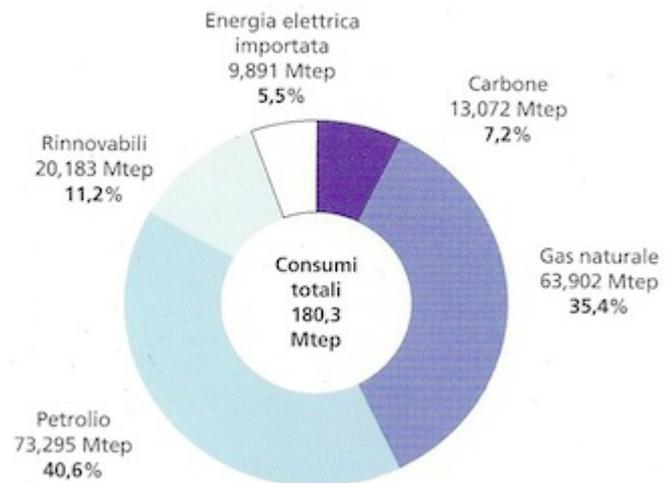


Petrolio	4300 Mtep	37%
Gas	2630 Mtep	23%
Carbone	2870 Mtep	25%
idro	717 Mtep	
Nucleare	720 Mtep	
rinnovabili	96 Mtep	
totale	11250 Mtep	

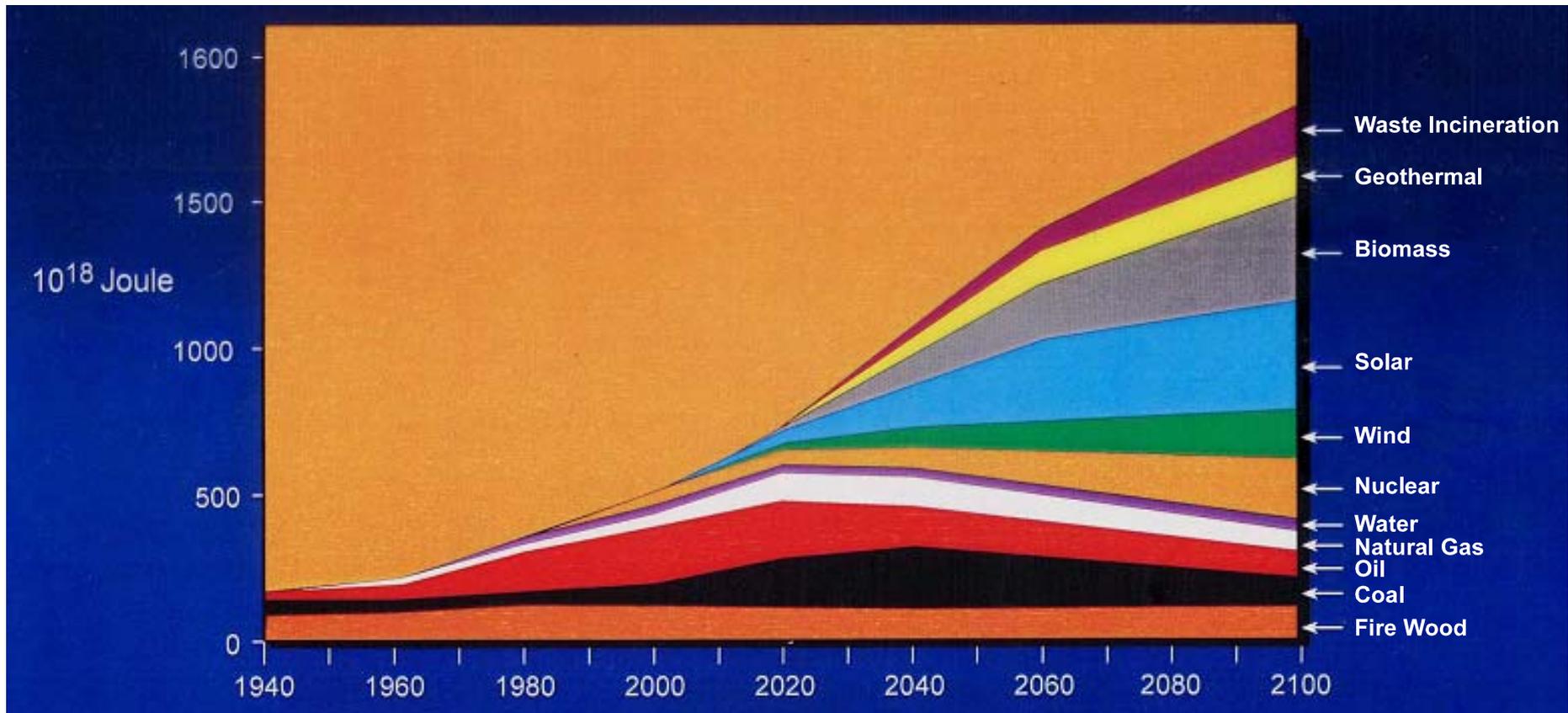
Consumo di Energia

Nel mondo

E in Italia



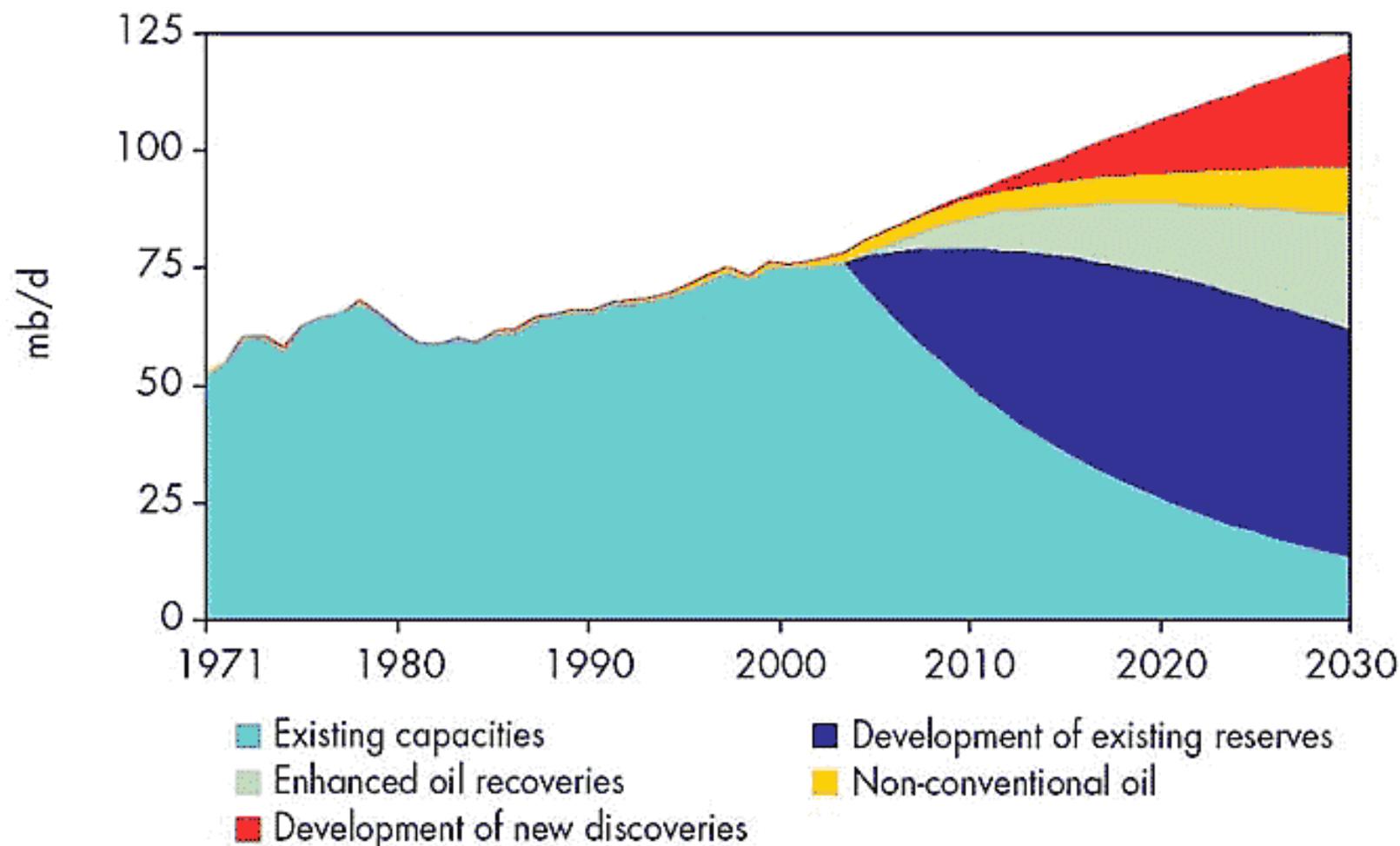
Il futuro (forse)



Schollnberger, 1998

(questo grafico è stato poi aggiornato al 2003, ma cambiato poco)

Altri esperti dissentono, e sembrano convinti che le riserve attuali possano essere sviluppate e spremute meglio.



Ma: 'l'età della pietra non è finita per esaurimento delle pietre'
(attribuita allo sceicco Yamani)

Intanto, che fare?

Risparmiare (un poco):

Smettere di usare elettricità per scaldare acqua.

Imporre a chi fa lavatrici e lavapiatti il doppio ingresso acqua fredda-calda (scaldata a gas); e di vendere condizionatori a gas.

Imporre per le nuove costruzioni almeno il solare termico.

Studiare le alternative:

La fusione 'calda' controllata (funzionerà mai?)

La fusione 'fredda' (molti pensano che possa riuscire).

Il solare fotovoltaico (sta diventando conveniente)

Il solare termico (già lo è)

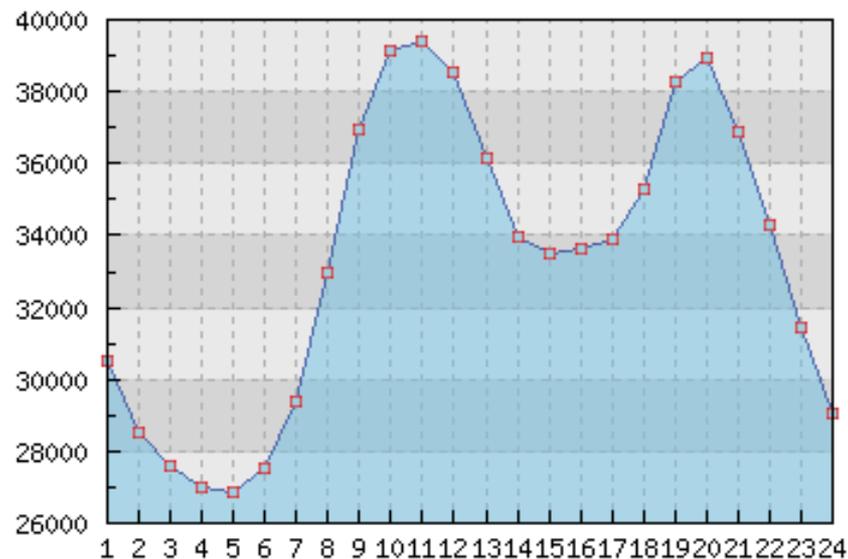
Il solare biomasse (chissà; sembra l'uovo di Colombo)

La fissione nucleare (pensateci e fatevi un'opinione)

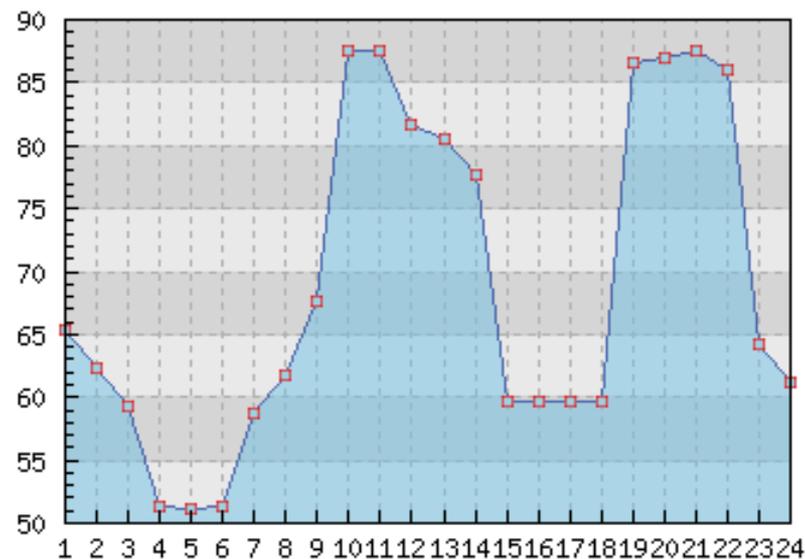
Energia elettrica

Il record di potenza impegnata in Italia è 56.9 GW (2007) (~1 kW a testa). Il totale utilizzato nel 2011 è stato 335. TWh (~29 Mtep, ~6000 kWh a testa; termica 225.8, idroelettrica 36.2, importata 51., 'altro' 7.7) La potenza impegnata, e il prezzo, variano molto a seconda dell'ora del giorno e del periodo.

Potenza impegnata MW, 4.3.06



costo euro/MWh



Energia da fissione nucleare

E' l'unica cosa che si sa fare oggi in modo ~ controllato. Alla fine degli anni '30 E.Fermi & co., Otto Hahn, Fritz Strassler, Lise Meitner e Otto Frisch scoprirono che neutroni lenti possono spaccare nuclei pesanti. Per es.

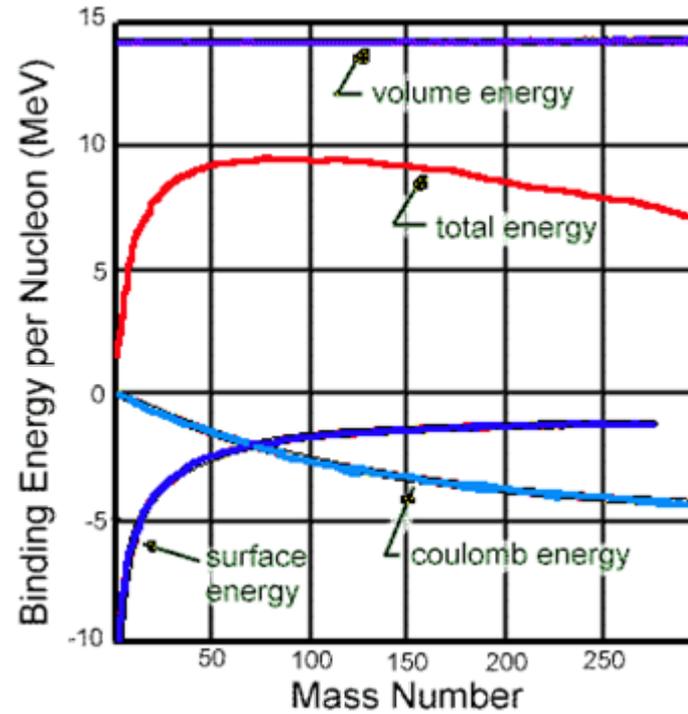
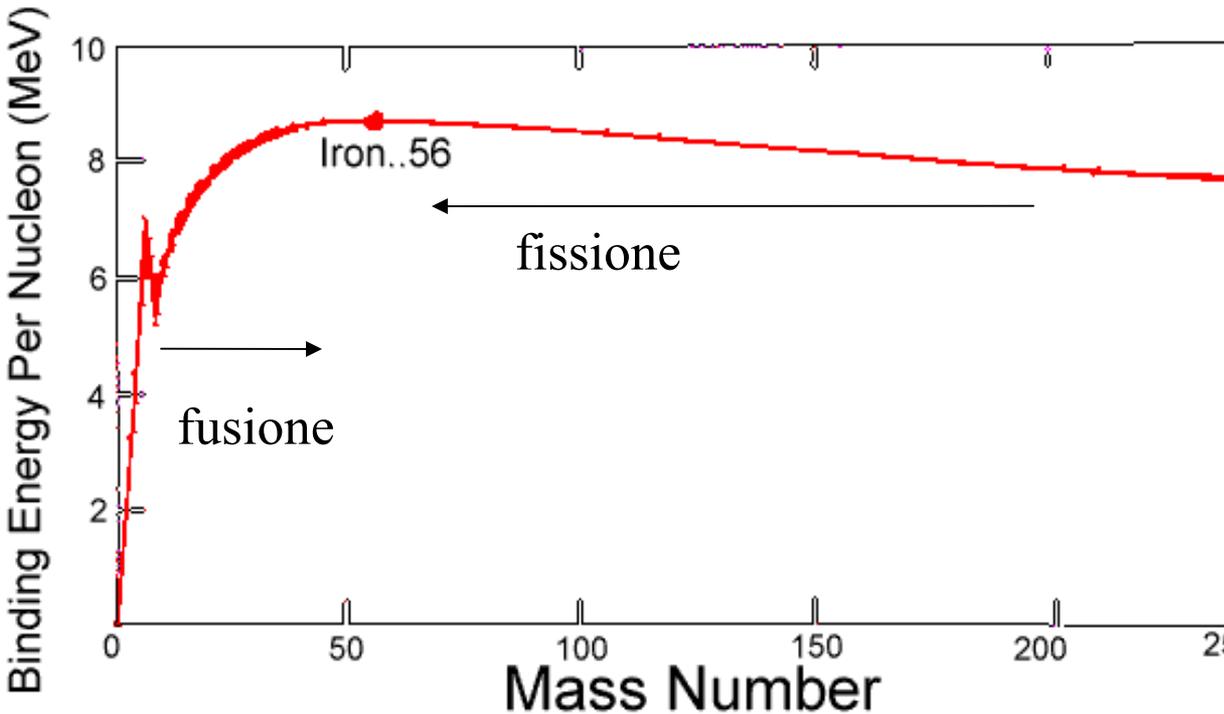
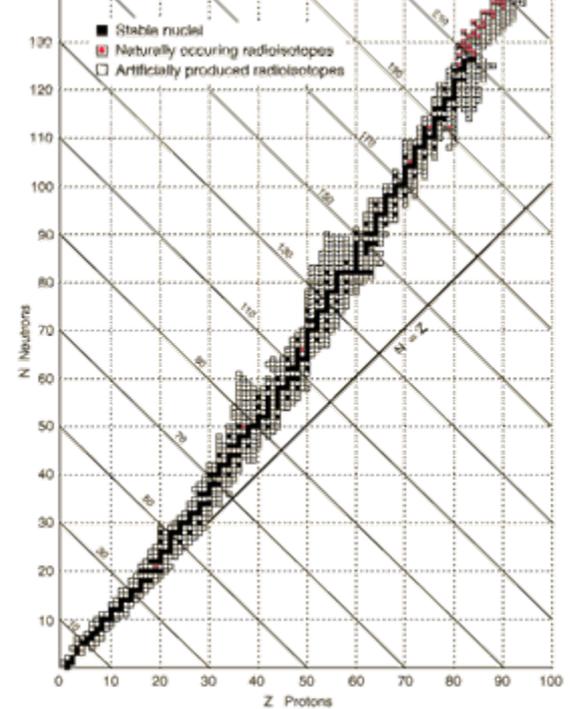


I neutroni che avanzano, rallentati in acqua, provocano altre fissioni, a catena. La catena è controllata con barre di cadmio che assorbono neutroni, come spugne. Per innescare la catena ci vuole una **massa critica** di ^{235}U . L'energia termica che si ottiene fa girare turbine collegate a generatori di energia elettrica.

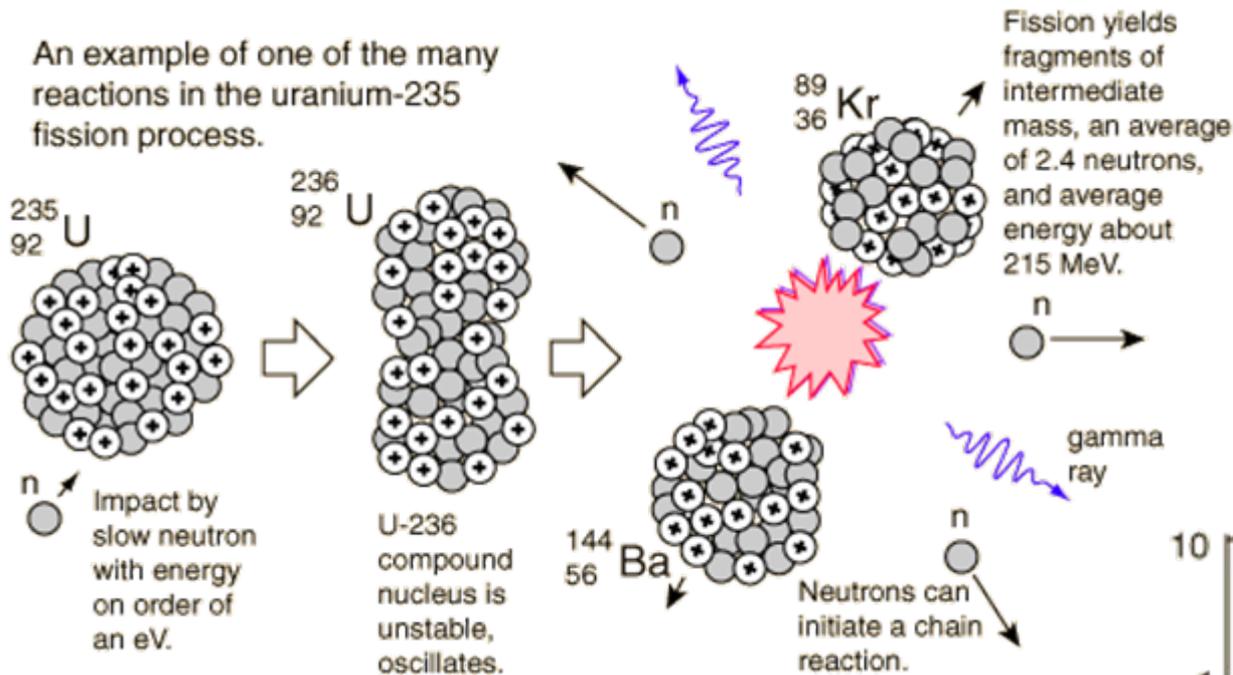
I prodotti della fissione sono per lo più radioattivi. Che farne?

fissione nucleare

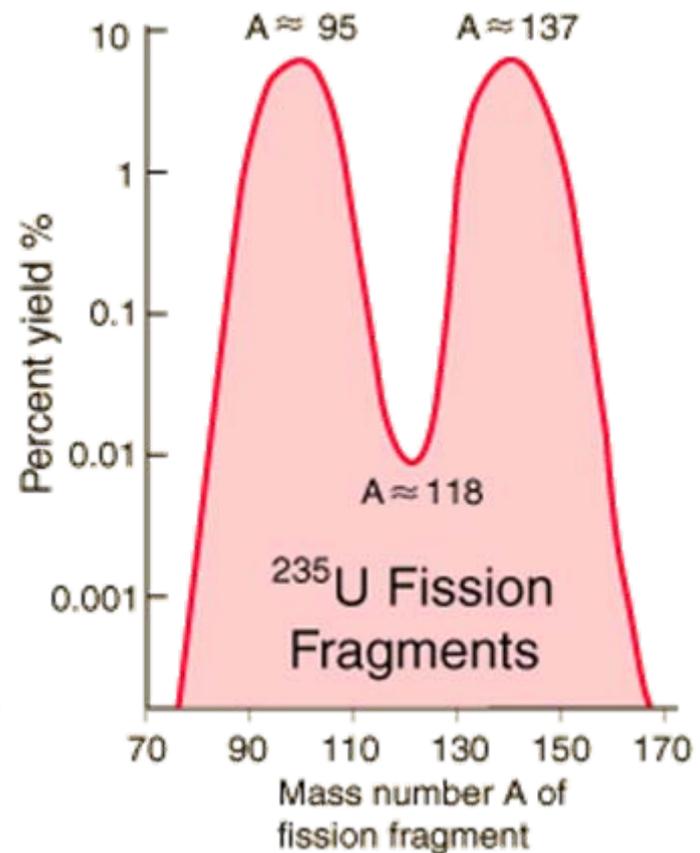
Idea generale: ottenere energia con trasmutazioni nucleari, da nuclei **meno** legati a nuclei **più** legati. Dalla curva qui sotto si capisce che si può con la **fissione** di un nucleo pesante o con la **fusione** di due nuclei leggeri. Nella fissione avanzano sempre neutroni, v. grafico a lato; punti neri= nuclei stabili (rari).



An example of one of the many reactions in the uranium-235 fission process.



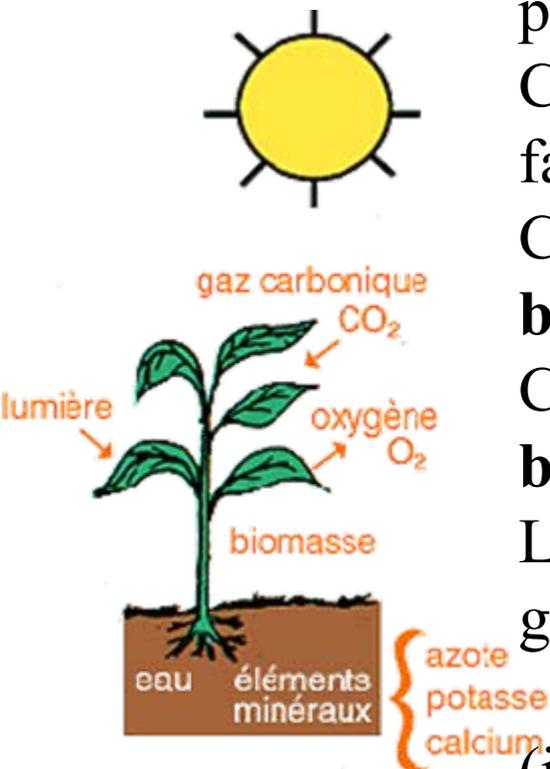
Siccome ci sono molti più nuclei radioattivi che nuclei stabili, con la fissione il problema delle scorie è inevitabile. La **fusione** non avrebbe il problema, ma come si fa' a farla? Ci si prova, progetto ITER; costa **tanto**. **Dicono che nel 2050....**



Il solare-biomasse (bioetanolo-biodiesel,.)

Cfr. per es. www.energoclub.it/a_biomasse.htm

L'uovo di Colombo? La sintesi clorofilliana è estremamente efficiente.



La tecnologia c'è sempre stata, e adesso fa grandi progressi; molti di più ne farà con le **biotecnologie**. Con gli scarti alimentari, i rifiuti urbani, si possono fare **pellets** per riscaldamento, **biogas**.

Con il mais, i cereali, le barbabietole si può fare il **bioetanolo**.

Con l'olio di colza, di arachidi, (anche usato), etc. il **biodiesel**.

Le piante assorbono CO_2 dall'atmosfera, e i motori gliela restituiscono tale e quale.

(il primo motore fatto da Diesel funzionava a olio di arachidi)

- Il bioetanolo è molto diffuso, da anni, in Brasile.
- Si puo' aggiungere fino al 30% di bioetanolo alla benzina senza modificare il motore. Aggiungendo olio di colza lo scarico puzza di patatine.
- Si possono ottenere fino a 6000 litri/ha-anno. In Italia, con ~34 milioni di macchine, a ~1000 l/a, servirebbero ~6 Mha (la superficie coltivabile è di ~13 Mha).
un'alternativa per verdi colline umbre? Chissa'.
- Preparando queste slides, mi sono innamorato dei pellet:

G.P.L. domestico	175 €/MWh
Gasolio riscaldamento	112 €/MWh
Metano	73 €/MWh
Pellet	50 €/MWh

Impianti a fonti rinnovabili in Italia

Anno 2011

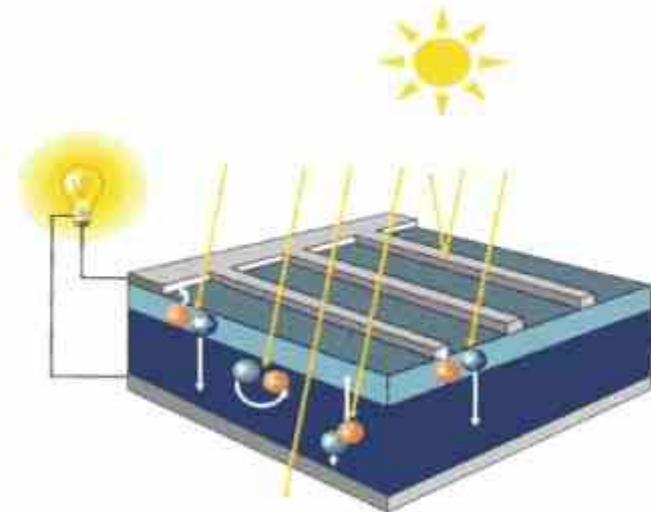
Potenza Efficiente Lorda MW	2008	2009	2010	2011
Idraulica	17.623	17.721	17.876	18.092
Eolica	3.538	4.898	5.814	6.936
Solare	432	1.144	3.470	12.773
Geotermica	711	737	772	772
Bioenergie ¹	1.555	2.019	2.352	2.825
Totale FER	23.859	26.519	30.284	41.399

Produzione Lorda GWh	2008	2009	2010	2011
Idraulica	41.623	49.137	51.117	45.823
Eolica	4.861	6.543	9.126	9.856
Solare	193	676	1.906	10.796
Geotermica	5.520	5.342	5.376	5.654
Bioenergie ¹	5.966	7.557	9.440	10.832
Totale FER	58.164	69.255	76.964	82.961

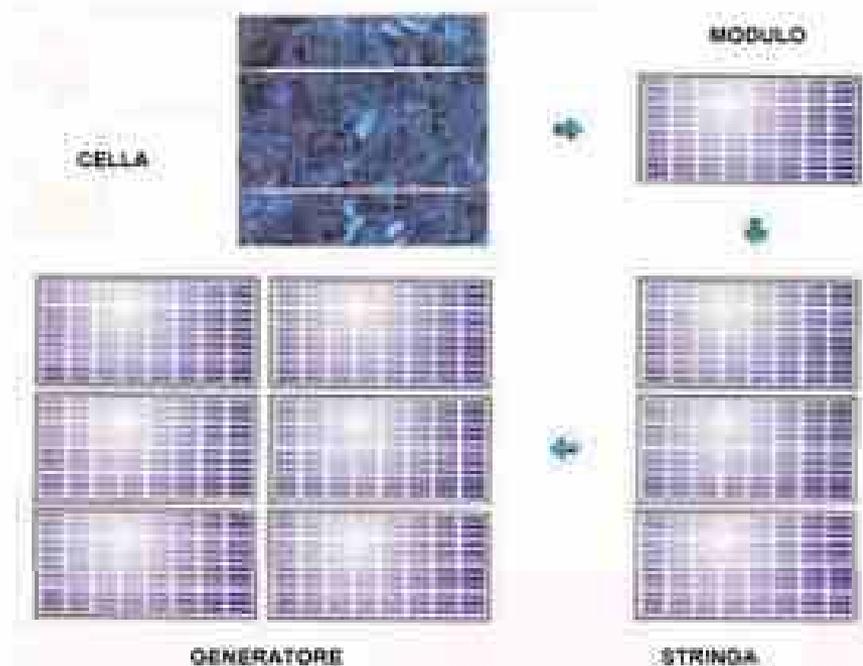
Consumo Interno Lordo CIL GWh	353.560	333.296	342.933	346.368
FER/CIL %	16	21	22	24

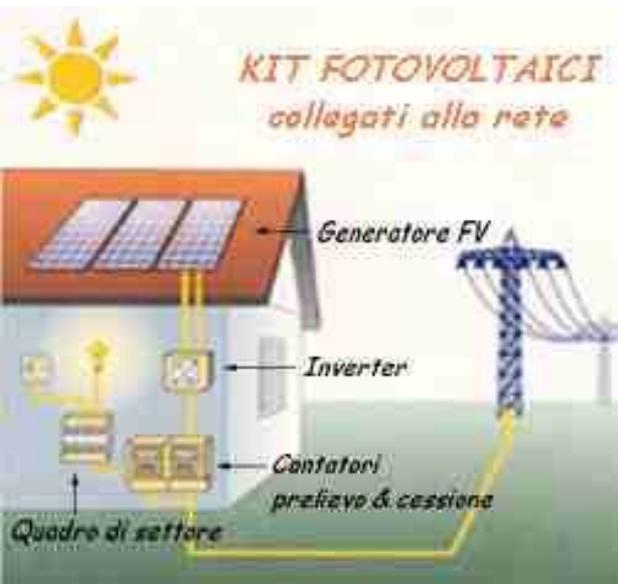
Il solare fotovoltaico

Il dispositivo base: "la cella fotovoltaica":
una piccola lastra di semiconduttore (silicio)
Per effetto fotoelettrico la luce del sole cede
(in parte) la sua energia agli elettroni interni
al materiale, che si spostano, generando una
forza elettromotrice e quindi una corrente
continua.



Pannelli per 1000 W di silicio
monocristallino/ policristallino/ amorfo
7 m² - 8 m² - 12 m²
producono ~ 1100 - 1400 kWh/anno
(dipende dalla regione)





I pannelli sono collegati tramite un invertitore alla rete ENEL, in modo da vendere energia di giorno, e ricomprarla di sera. Un impianto ~ 3000 W, ~ 10 m², costa oggi ~ 10000 €- contributi (si dice).

L'ENEL compra a ~ 0.27 €/kWh (2012)

(vende a ~ 0.18 €/kWh)

Potenza installata ~ 12.7 GW (2011)

Energia prodotta ~ 9.25 TWh

Cfr. Gestore Servizi Energetici (www.gse.it)



Impianto domestico

Ore Equivalenti mensili di funzionamento a piena potenza

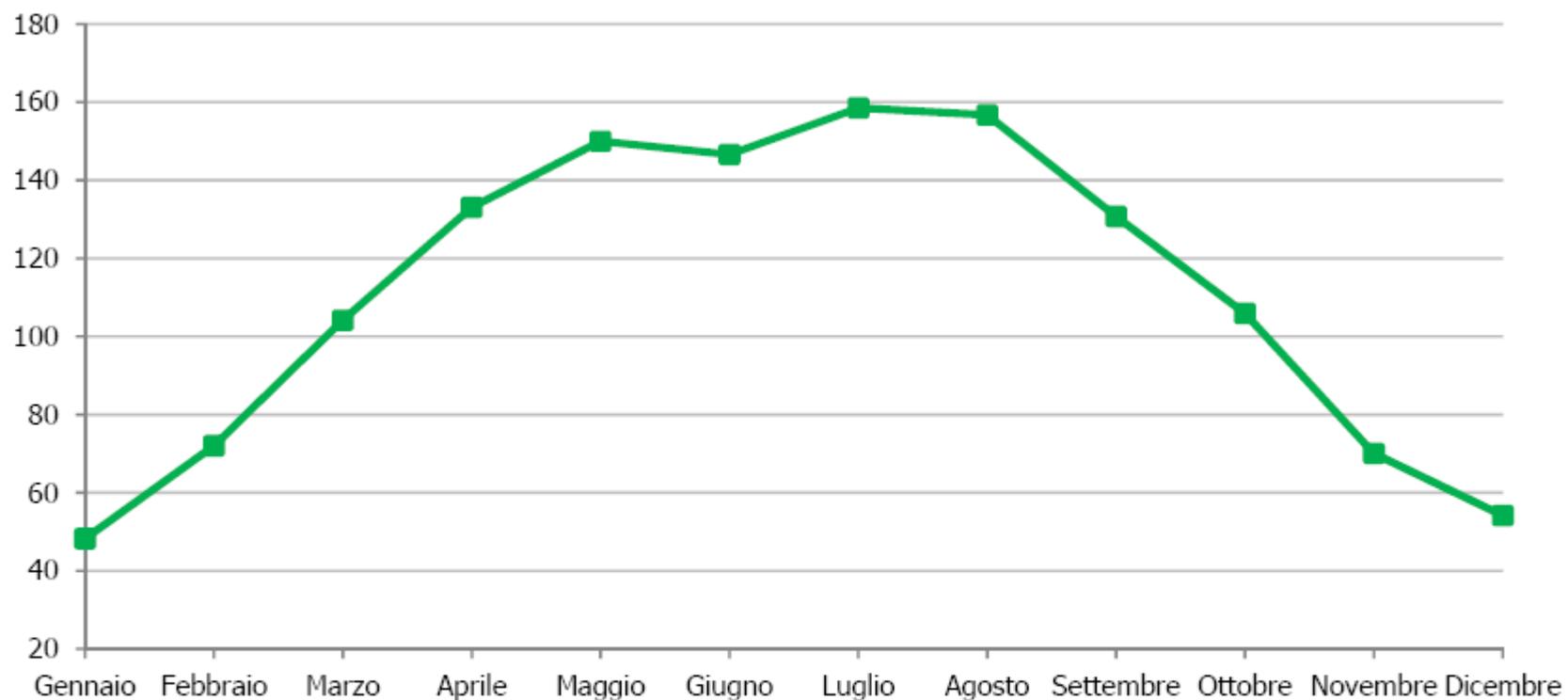
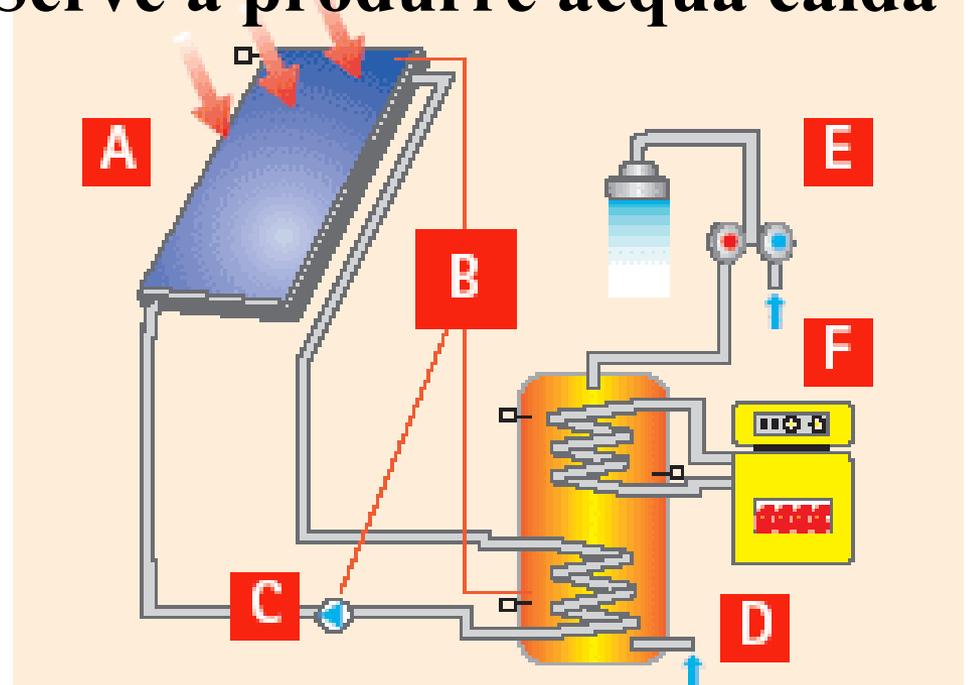
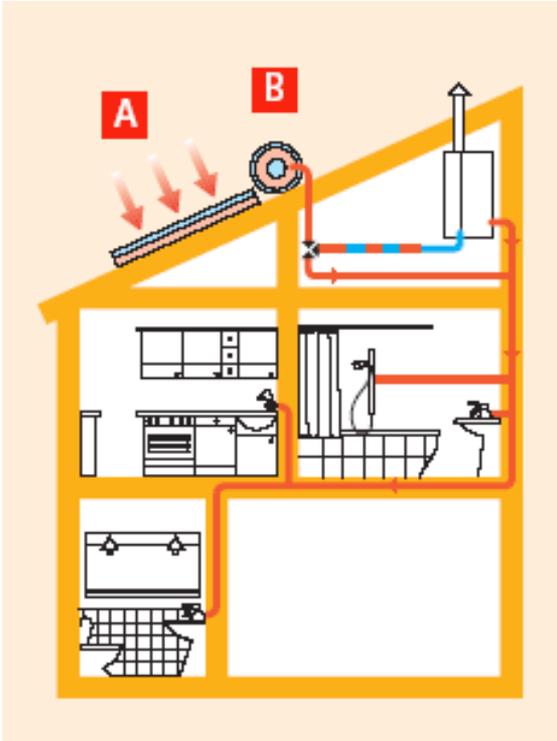


Figura 10.9: andamento mensile delle "ore equivalenti" relativo al 2011, riferito all'intero territorio nazionale.

Il solare termico

Serve a produrre acqua calda



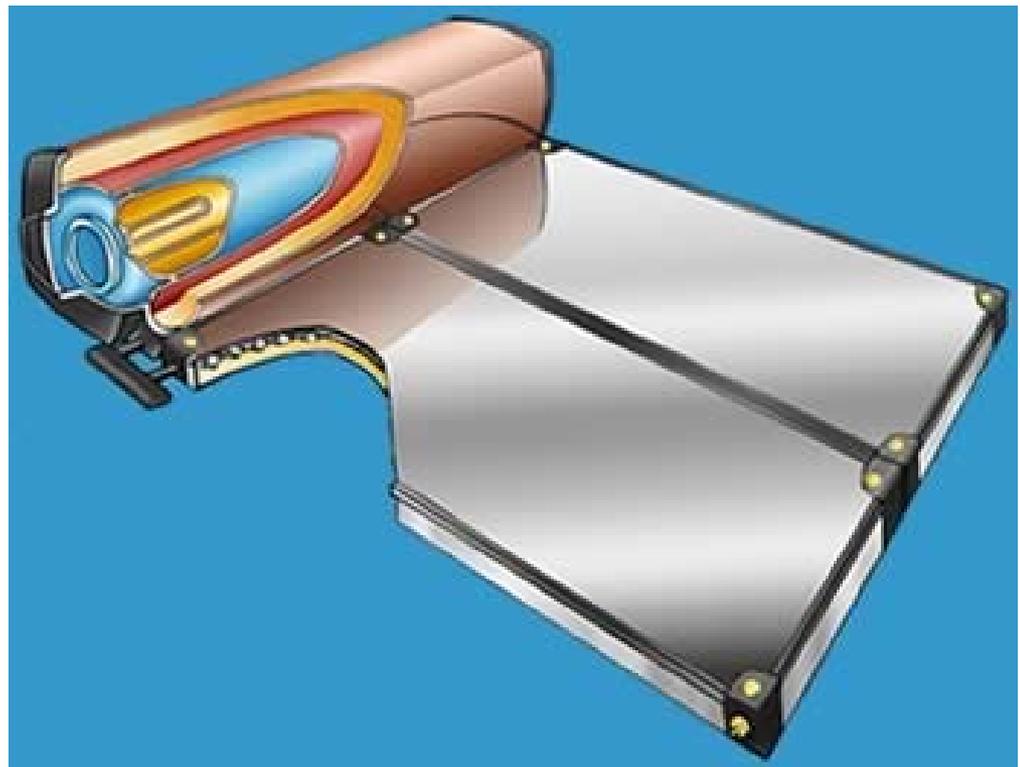
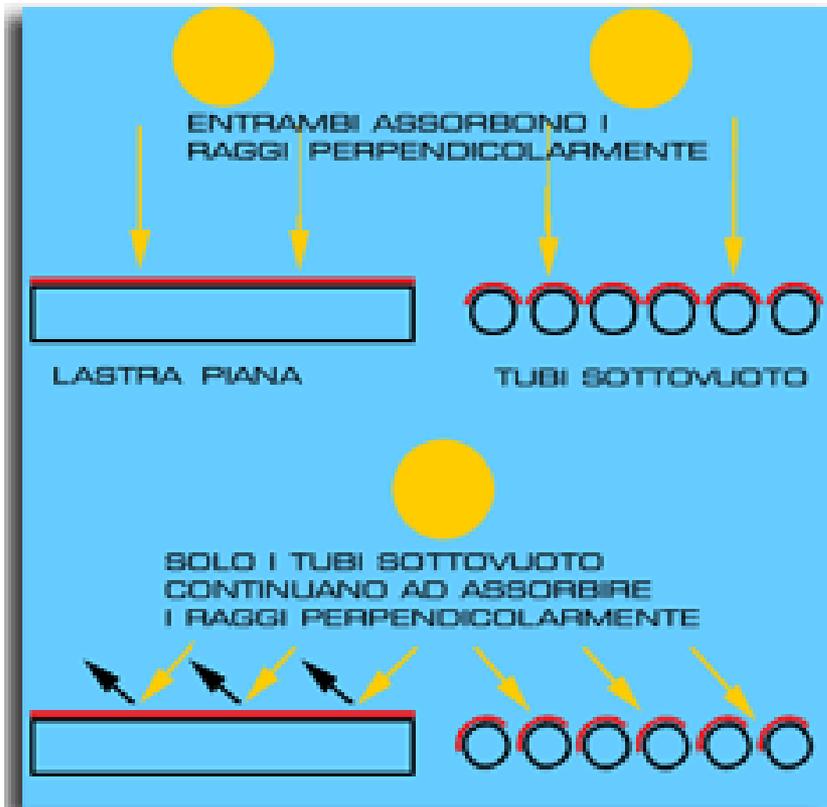
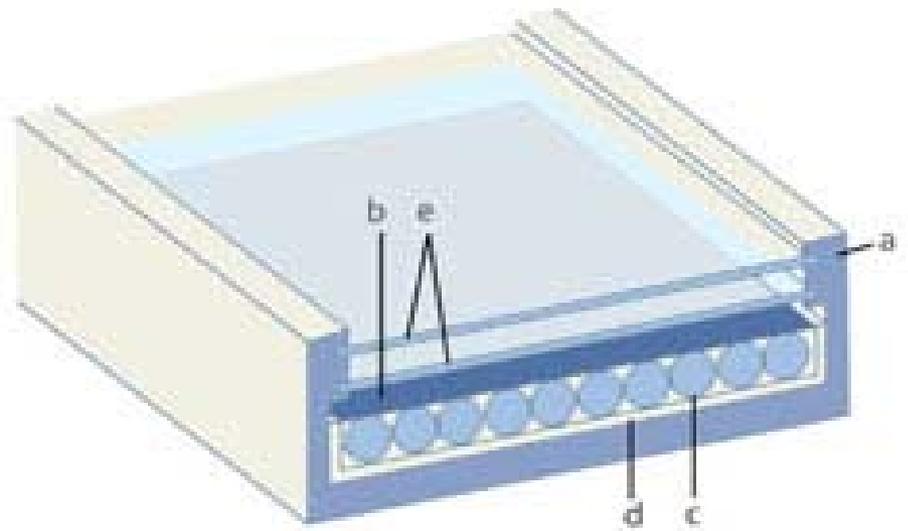
Per dove non gela mai

per dove d'inverno gela

Il numero da ricordare è $I_{\odot} \approx 1360 \text{ W/m}^2$ (ma ci sono l'atmosfera, le nuvole, le notti). Un impianto per 3-5 persone costa $\sim 3000 \text{ €} + \sim 1000 \text{ €}$ di installazione

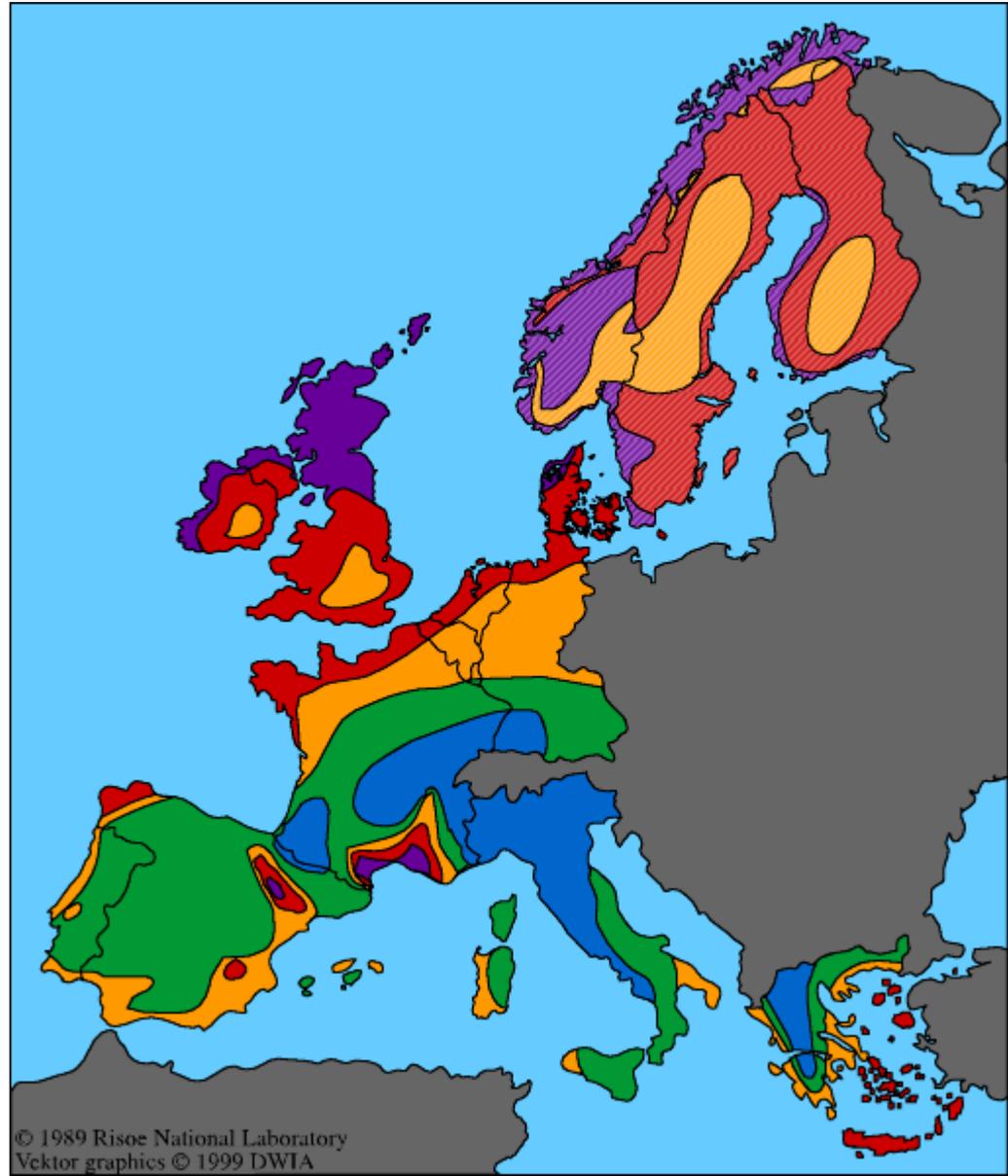
-55% detrazione fiscale fino a giugno 2013.

Dettagli di come sono fatti i pannelli solari termici. Quello qui sotto, con tubi di vetro, oggi costa di più, ma potrebbe avere un grande avvenire. E' più efficiente, e il vetro costa poco, il rame tanto.



Energia eolica

Popolare in paesi ventosi (per es. Danimarca); da noi di vento ce n'è abbastanza poco. Però se uno ha una casa in un posto infelice, dai 500€ in su, piu' la torre etc..



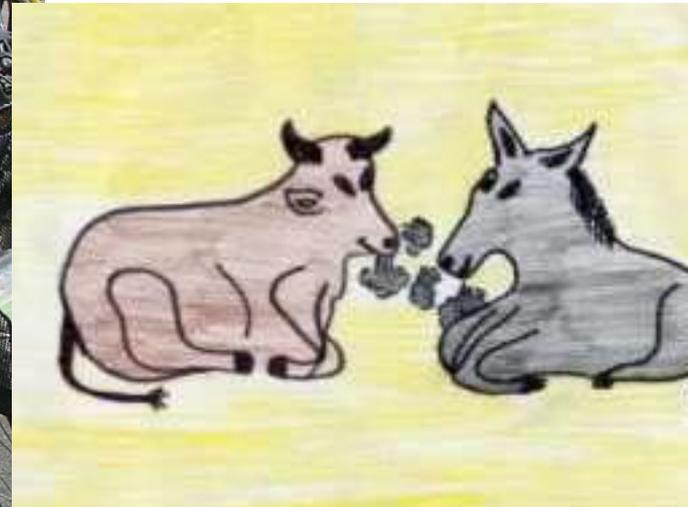
I grandi impianti sono brutti, rumorosi, e ammazzano gli uccelli; i succosi contributi CEE hanno creato corruzione (Sardegna, Campania). Il più grande a Buddusò (Olbia) 69 turbine, 138 MW, costo 270 M€, genera 33 Gwh/anno



Poi ci sono sempre altre possibilità,
politicamente corrette.



www.simonerossi.it/coloring



grazie per l'attenzione