

# ENERGIA NUCLEARE I NUMERI NON DETTI E I MITI DA SFATARE

**Nicola Armaroli**

*Molecular Photoscience Group*

*Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività*

*Consiglio Nazionale delle Ricerche*

*Bologna*

*nicola.armaroli@isof.cnr.it*

Nicola Armaroli  
Vincenzo Balzani  
**Energia per  
l'astronave Terra**

Quanta ne usiamo, come la produciamo,  
che cosa ci riserva il futuro



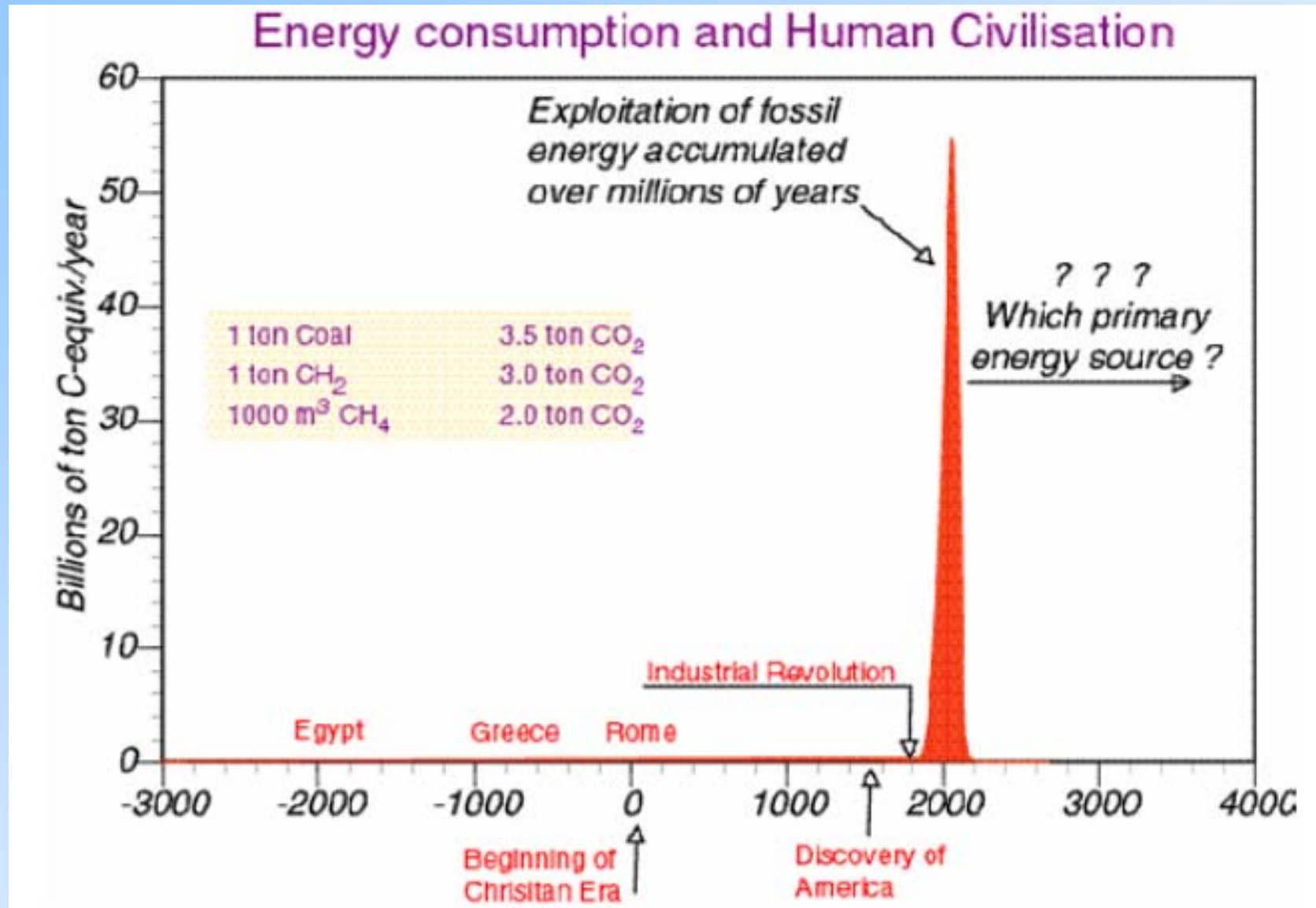
CHIAVI DI LETTURA **ZANICHELLI**



<http://www.isof.cnr.it/photoscience/Nicola.Armaroli/>

Genova, Energethica, 7 Marzo 2009

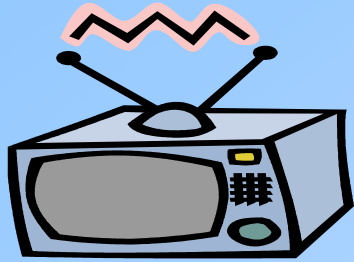
# Consumi energetici nella storia della civiltà umana



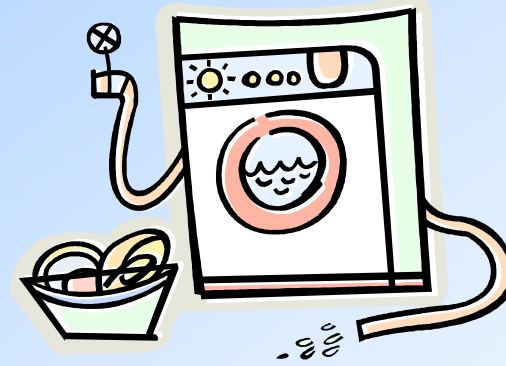
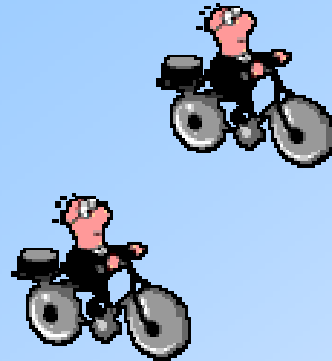
# VITA DA IMPERATORE



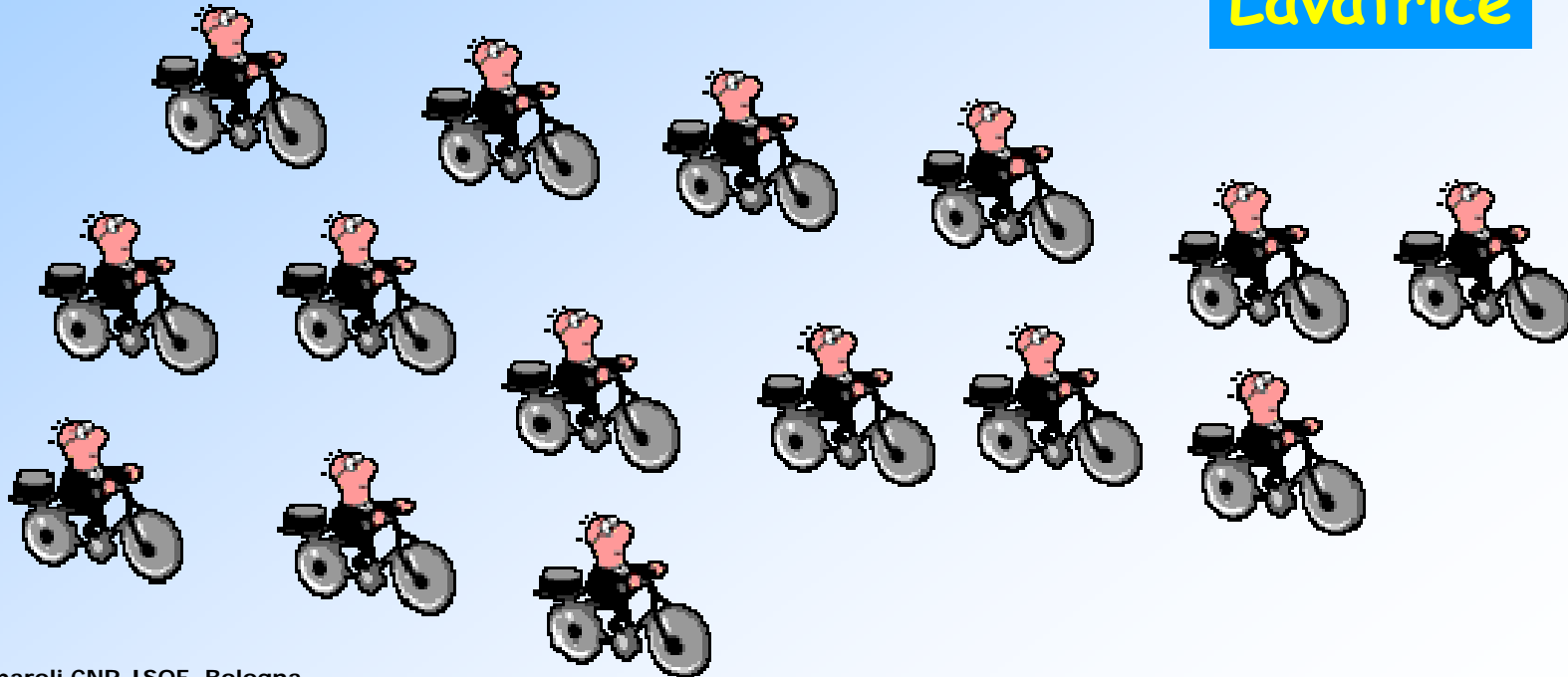
# La potenza a ns. disposizione: gli "schiavi energetici"



TV

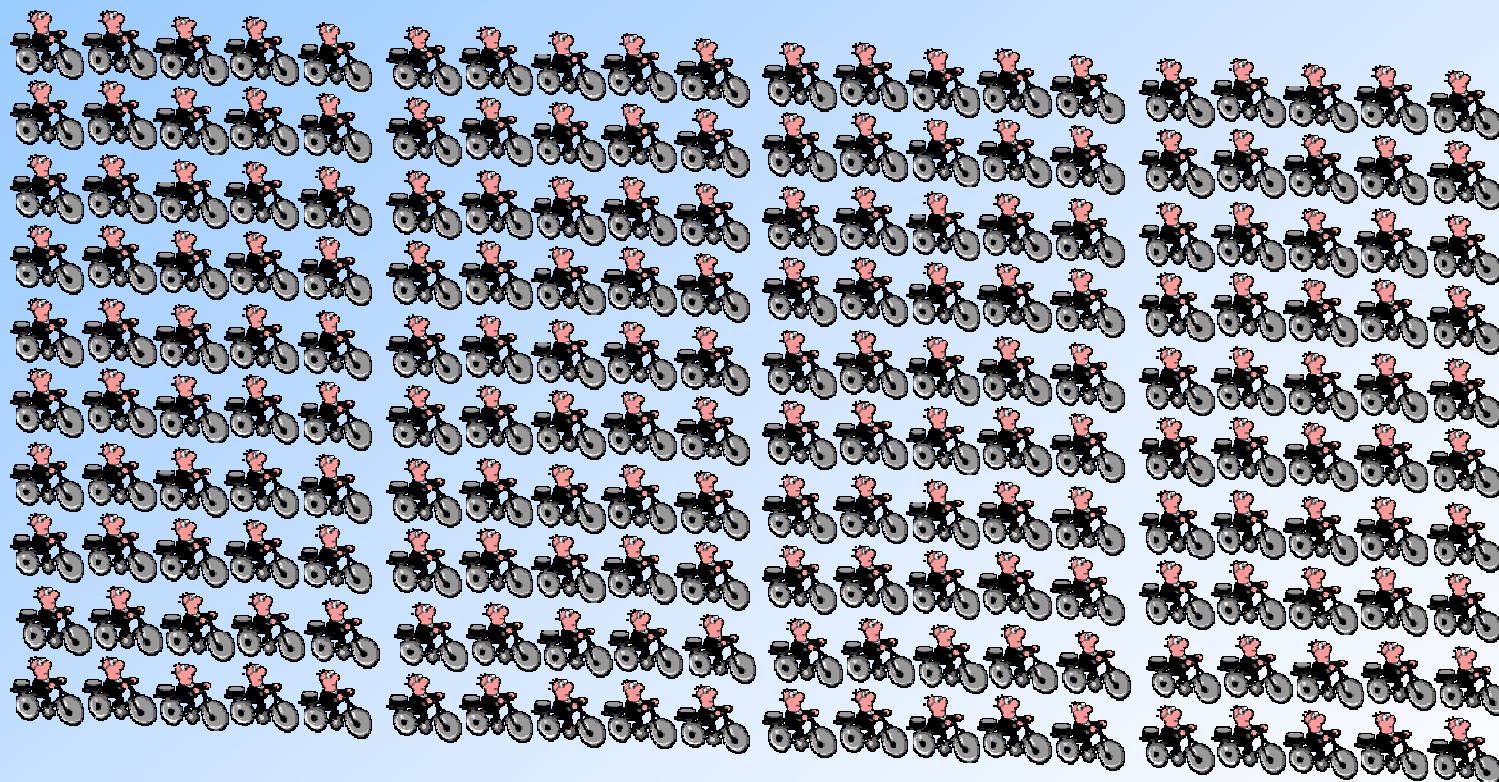


Lavatrice





Auto 115 CV a 100 Km/h



1600

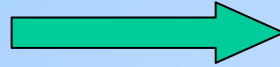
## Boeing 747-400 al decollo



1.6 MILIONI  
di schiavi energetici

# Questa cuccagna ci costa molto?

costo PETROLIO:  
40 \$/barile



0.195 €/litro

Meno  
caro di...



costo BENZINA ca. 1.05 €/l  
(65 % tasse!!!)



Molto più economica di ...



# IL LATO NASCOSTO DELLA CUCCAGNA



**Riscaldamento  
climatico**



**Inquinamento**



# OPZIONI

# 5 forme di energia primaria

## 1) Fossili (energia solare immagazzinata)



## 2) Solare diretta e indiretta



### 3) Energia nucleare (fissione e fusione)



### 4) Energia geotermica



### 5) Energia gravitazionale (interazione Terra/Luna)



## Il grande pregio dell'opzione solare: l'abbondanza

Richiesta media di potenza energetica mondiale: 14 TW

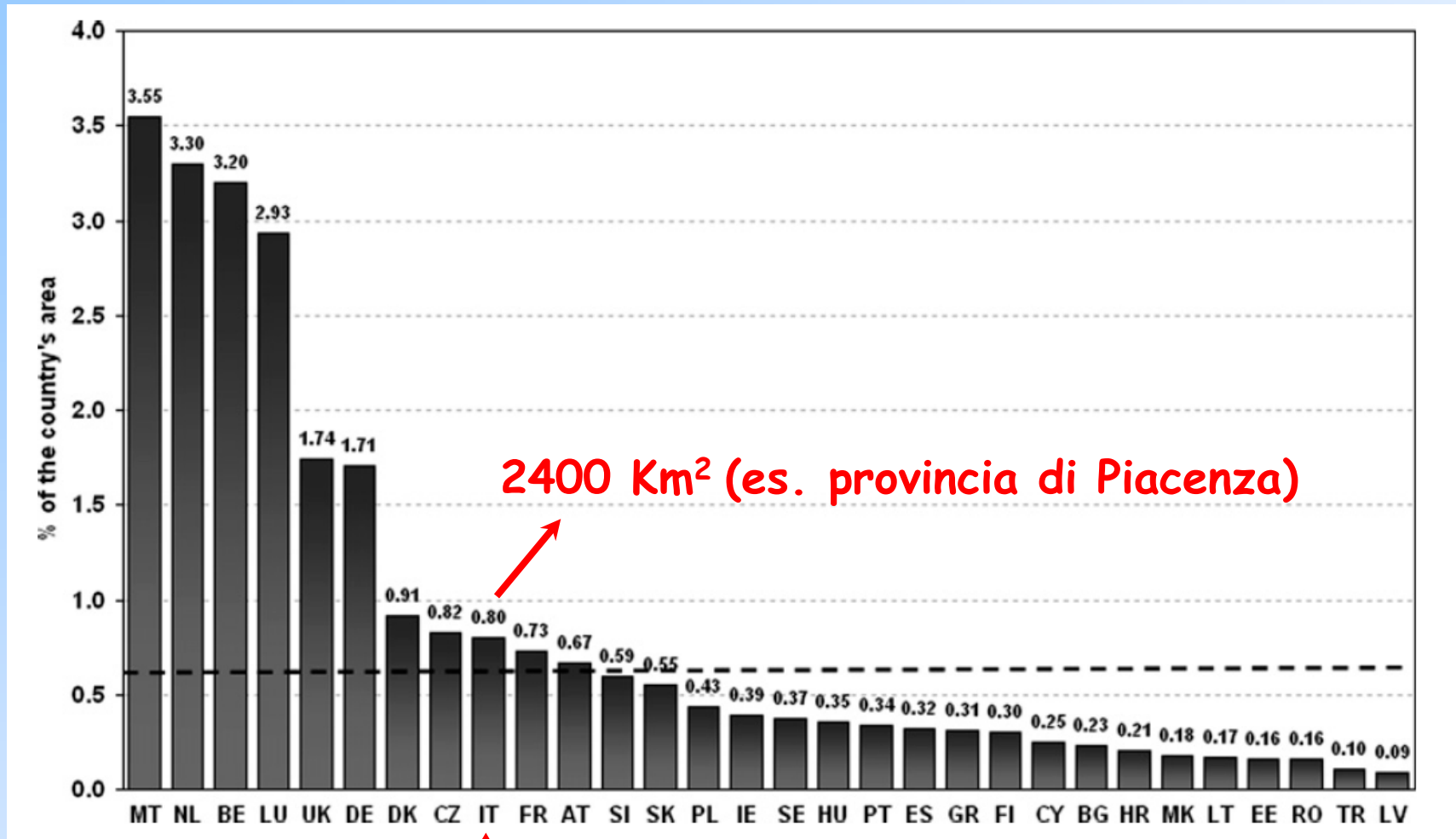
Flusso di energia solare sulla superficie terrestre: 170000 TW



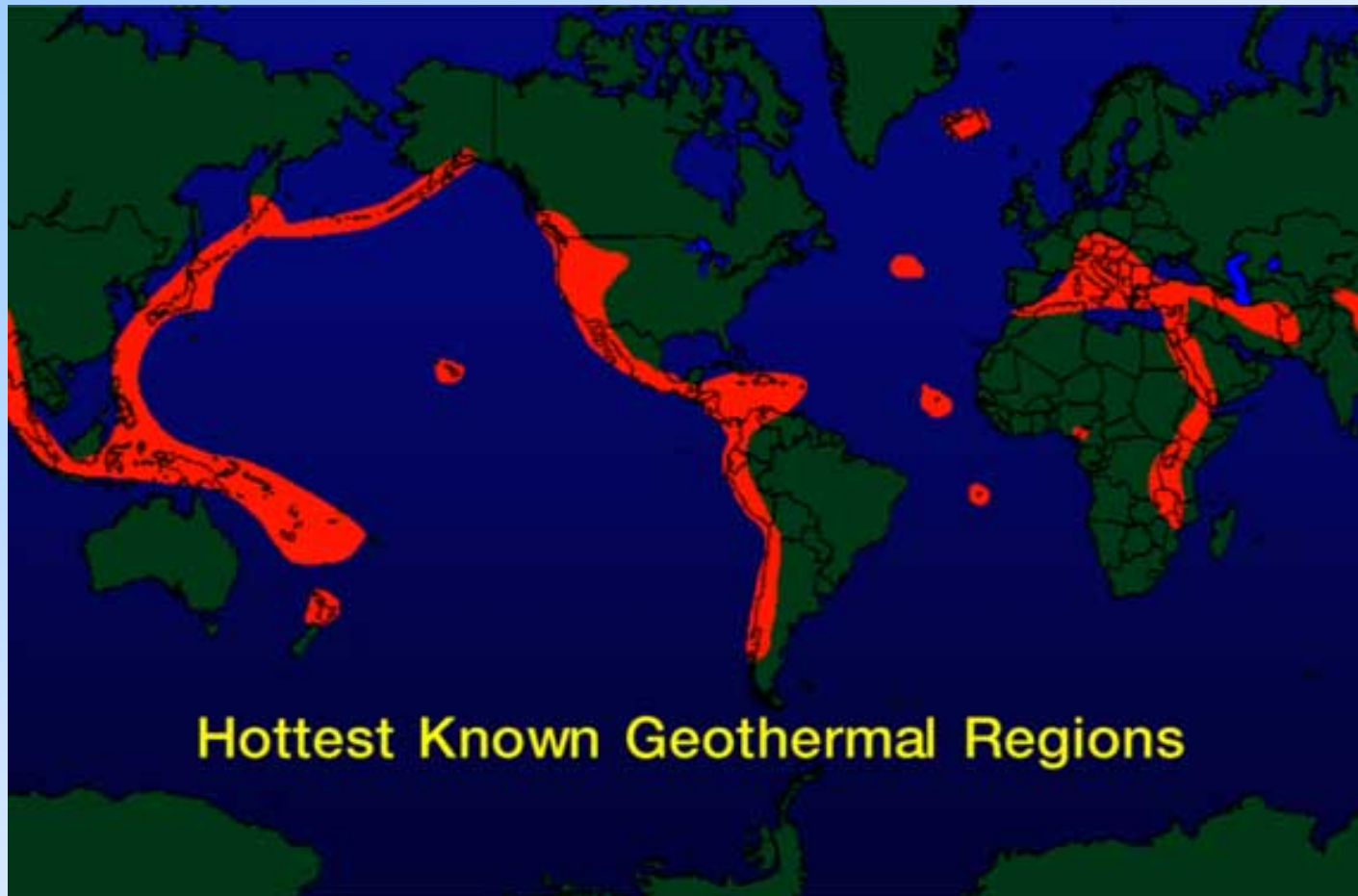
Global need. This map shows the amount of land needed to generate 20TW with 10% efficient solar cells.

**L'ITALIA,  
CHE RISORSE HA?**

**POTENZIALE FOTOVOLTAICO EUROPEO:** superficie di pannelli PV montati ad angolazione ottimale per soddisfare il 100% del fabbisogno elettrico di ogni nazione UE (espresso come percentuale della superficie nazionale). Linea tratteggiata: media europea, 0.6%



# ZONE DEL MONDO AL ELEVATO POTENZIALE GEOTERMICO

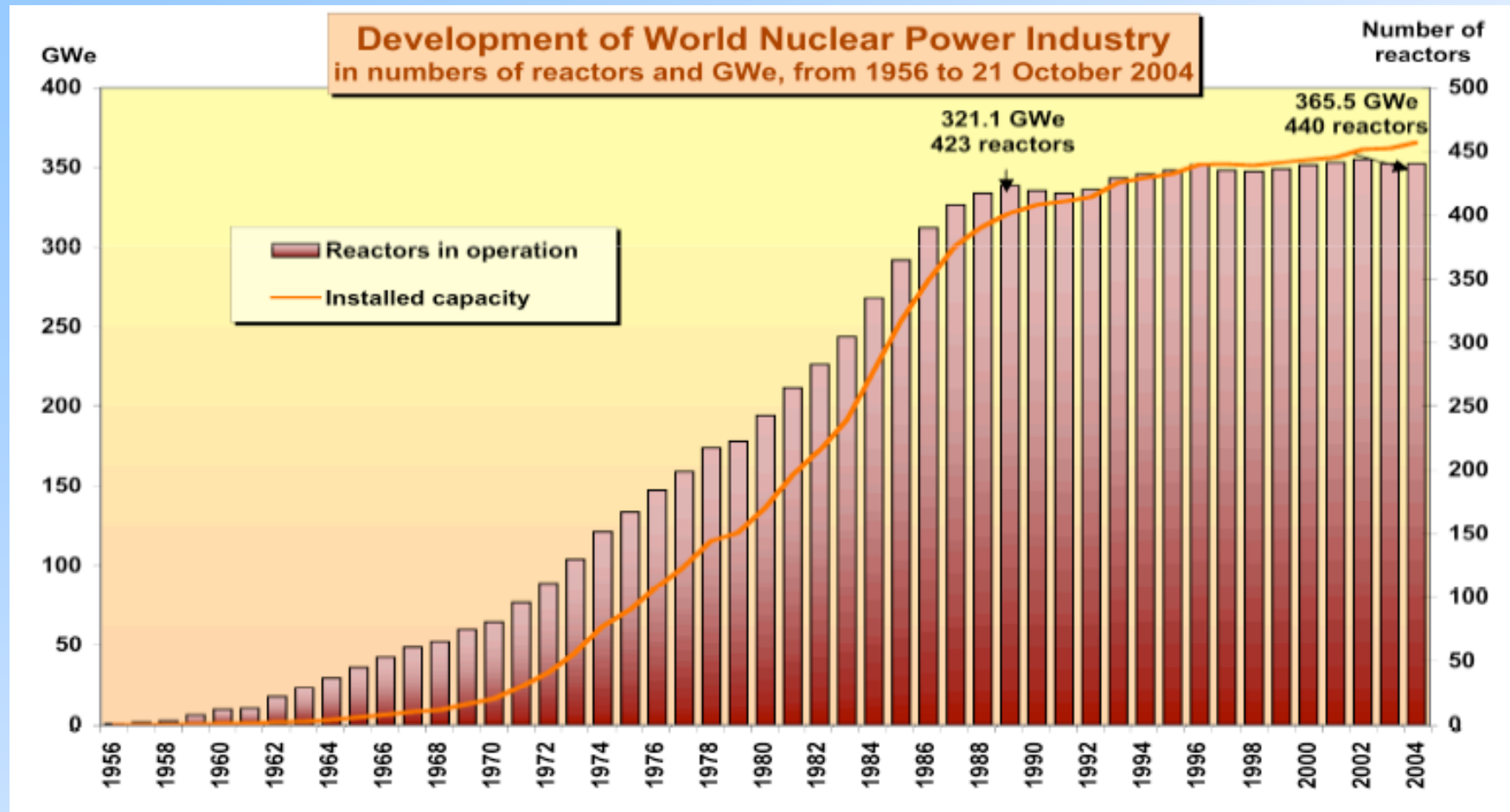


# ENERGIA NUCLEARE

-NUMERI PER RIFLETTERE-

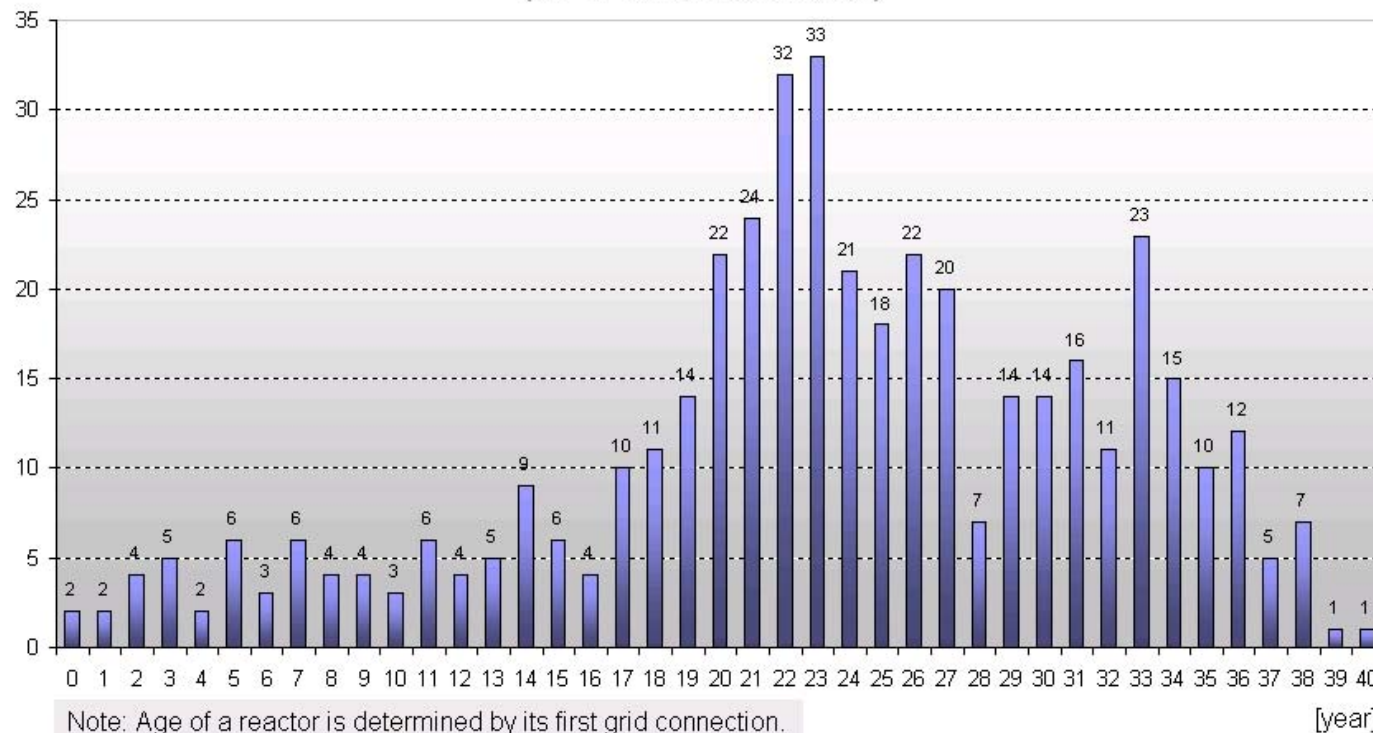


# SVILUPPO MONDIALE DELL'ENERGIA NUCLEARE DAL 1956

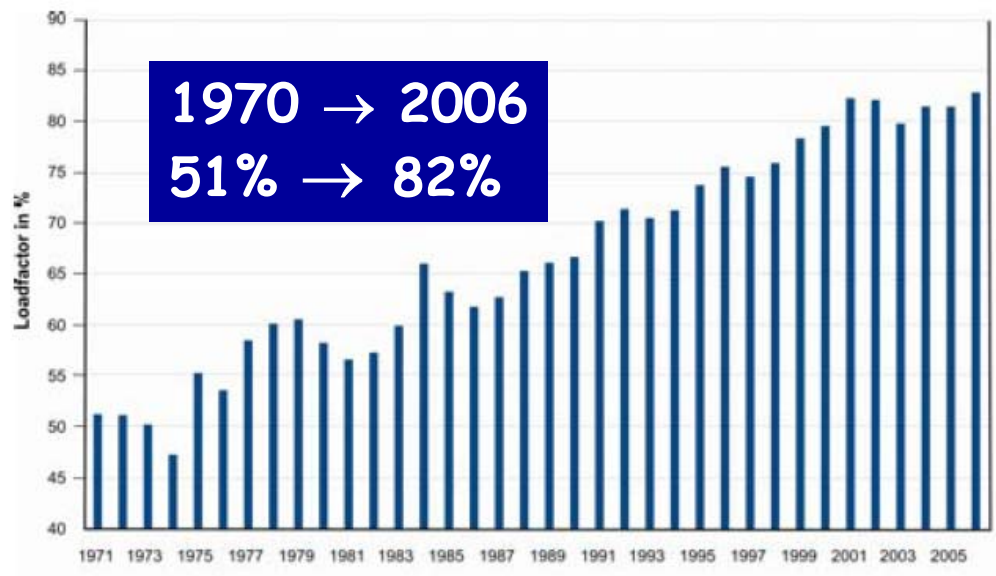


# ETA' DELLE 439 CENTRALI NUCLEARI OPERATIVE NEL MONDO

Number of Operating Reactors by Age  
(as of 26 of June 2007)

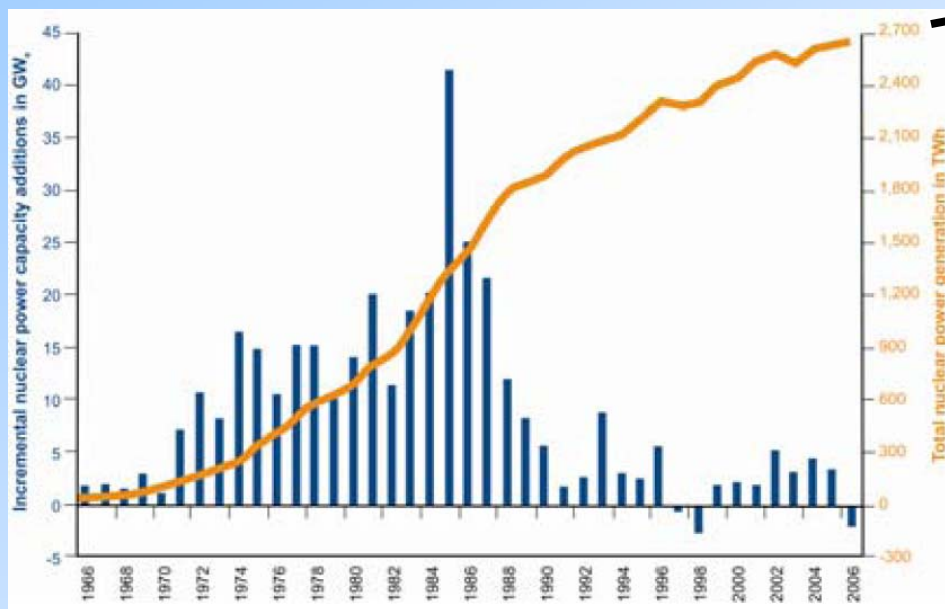


- Solo **30 nuovi impianti** sono in costruzione nel mondo: non riusciranno a rimpiazzare le centrali che hanno raggiunto la pensione



**Fattore temporale di funzionamento medio degli impianti nucleari nel mondo**

**2700 TWh**  
**15% della pruduz. elettrica mondiale**



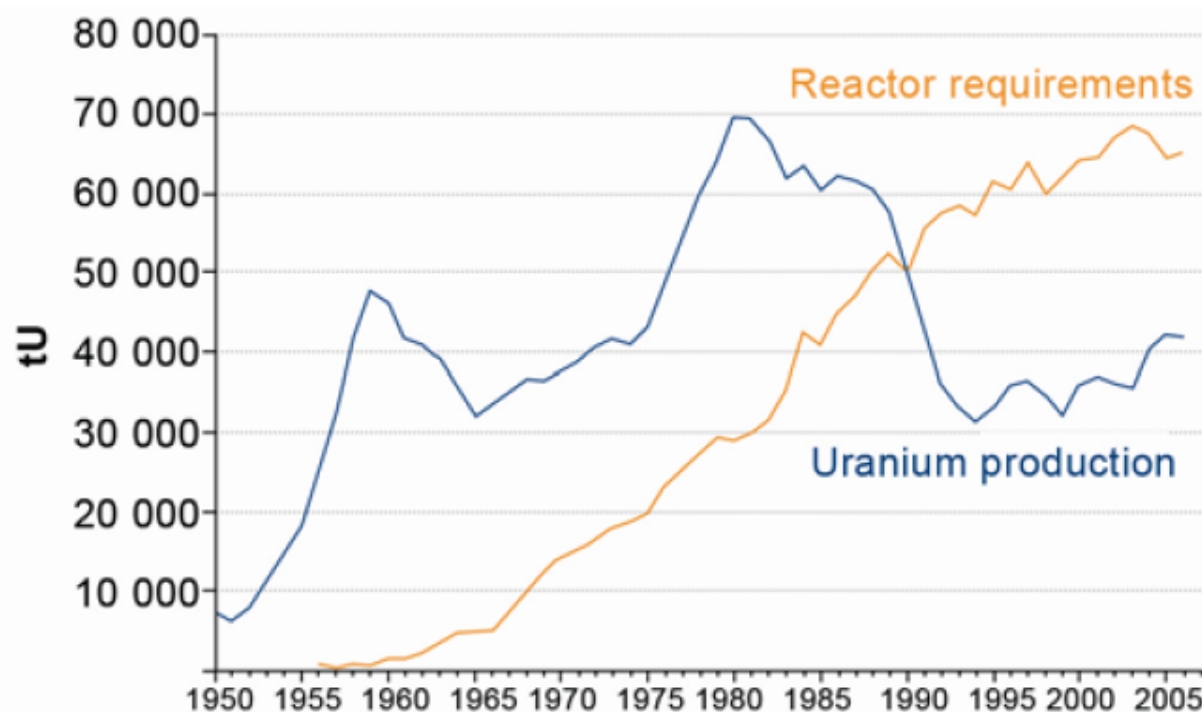
**Variazione annuale della potenza installata nel mondo e energia elettrica prodotta**

**World Energy Council, 2007 Survey of Energy Resources**

# La produzione attuale di uranio è largamente inferiore alla domanda

**Figure 6-1** Global annual uranium production and reactor requirements<sup>4</sup>, 1950-2006<sup>5</sup>

Source: adapted from NEA/IAEA, 2006

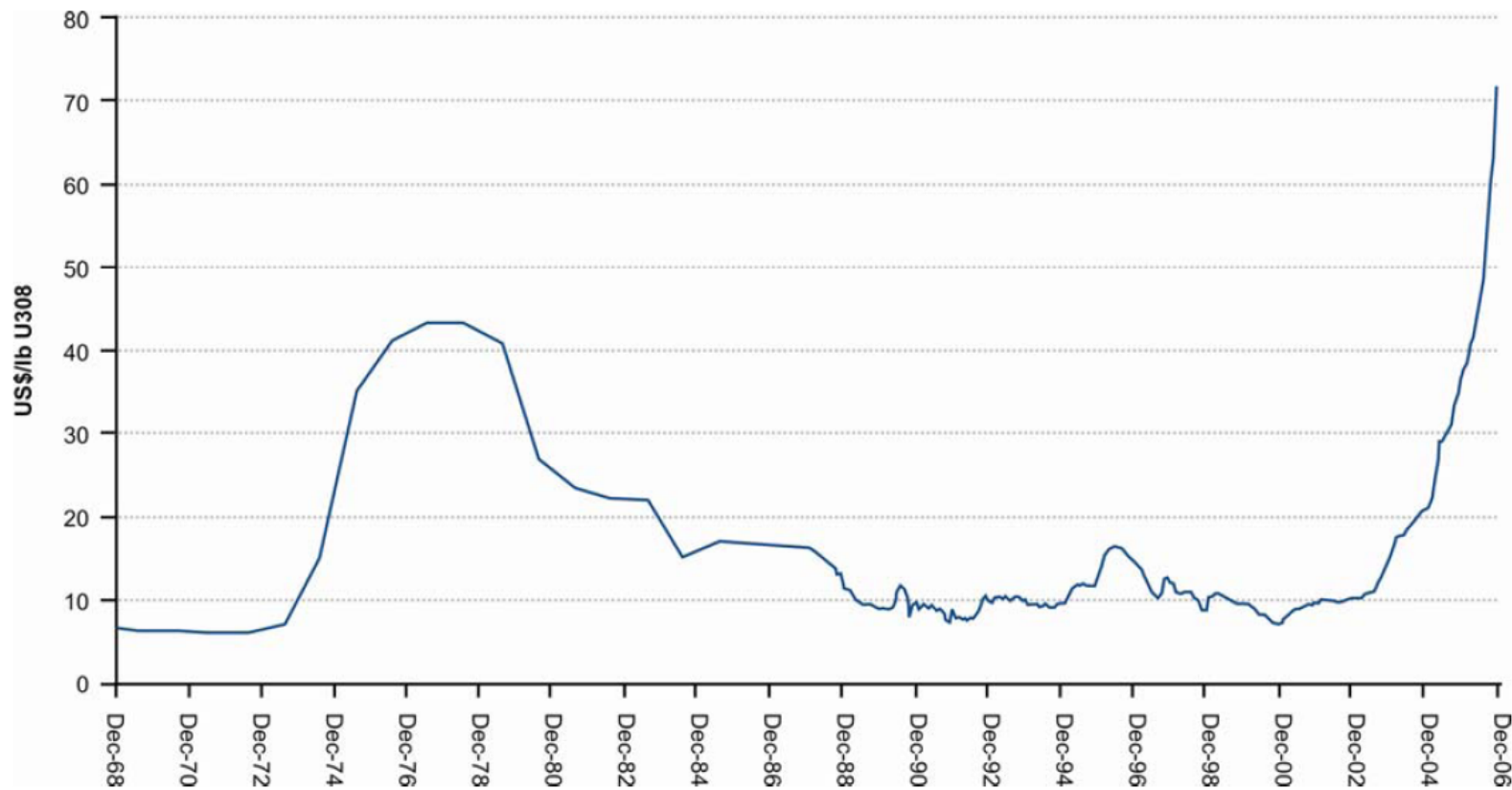


World Energy Council, *2007 Survey of Energy Resources*, p. 197

# Il prezzo del petrolio oscilla, e l'uranio?

**Figure 6-2** Development of uranium spot market prices\*, 1968–2006

Source: adapted from NEA/IAEA, 2006



\*Note: Long-term contract prices may differ significantly from spot-market prices and are currently much lower than the spot price, for say US\$ 91/lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, but indicate the tightness of the market in the short run.

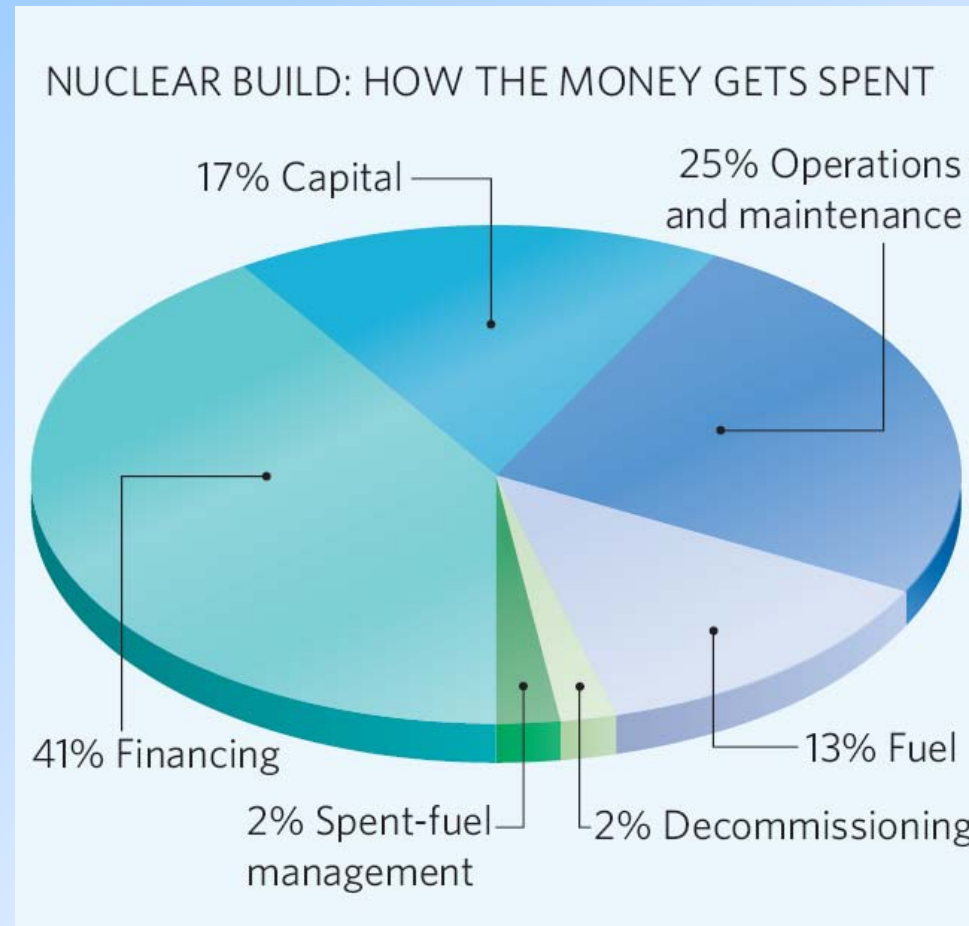
World Energy Council, *2007 Survey of Energy Resources*, p. 198

# Perchè il nucleare è in crisi da 30 anni?

- Gli incidenti di **Chernobyl** e **Three Mile Island** hanno minato la **accettabilità sociale** della tecnologia
- La liberalizzazione dei mercati energetici (= lo Stato esce dalla partita) ha di fatto **tagliato le gambe** all'energia nucleare
- **Nessuna impresa privata** è disposta ad investire in un settore così ad alto rischio **senza precise garanzie** e coperture da parte delle **finanze pubbliche**

**L'ENERGIA NUCLEARE NON  
SOPRAVVIVE IN REGIME DI  
LIBERO MERCATO**

# Distribuzione dei costi economici di una centrale nucleare a fissione



*Nature* 2006, 440, 984

# La crisi finanziaria è un problema enorme per progetti come questi

## Nuclear renaissance plans hit by financial crisis

Role of fission in fighting climate change looks likely to wane.



RECESSION WATCH

Frozen global credit markets and the prospect of a prolonged economic recession are threatening the resurgence of nuclear power that has been touted by governments and industry around the world.

The growing difficulties in attracting investment may prevent nuclear power from playing a significant role in the fight against climate change. A global energy outlook published on 12 November by the International Energy Agency, an intergovernmental organization that guides energy policy, called for an 80% increase in the world's current nuclear capacity by 2030 in order to keep global carbon dioxide levels from rising above 450 parts per million.

That would require bringing some 25 new reactors online every year between now and 2030, five times the current rate of construction, according to Matthew Bunn, a nuclear-policy expert at Harvard University. Given the bleak financial outlook and the limited production capabilities of power-plant vendors, "nuclear can no longer support climate-change needs and targets", he says.

**"Nuclear can no longer support climate-change needs and targets."**

Energy, a consortium seeking to build new nuclear plants in Maryland, Pennsylvania and New York state.

But what was a tough task before the downturn is becoming almost impossible in the global recession, according to Mycle Schneider, an independent nuclear consultant based in Paris. Nuclear-parts suppliers are unlikely to expand production, and private utility companies — which must provide billions in investment for new plant construction — have seen their stocks battered in recent weeks. Together with a shortage of skilled labour, the slowdown means that over the next decade "the industry will not even be able to replace the units being shut down because of ageing", predicts Schneider.

### Missing targets

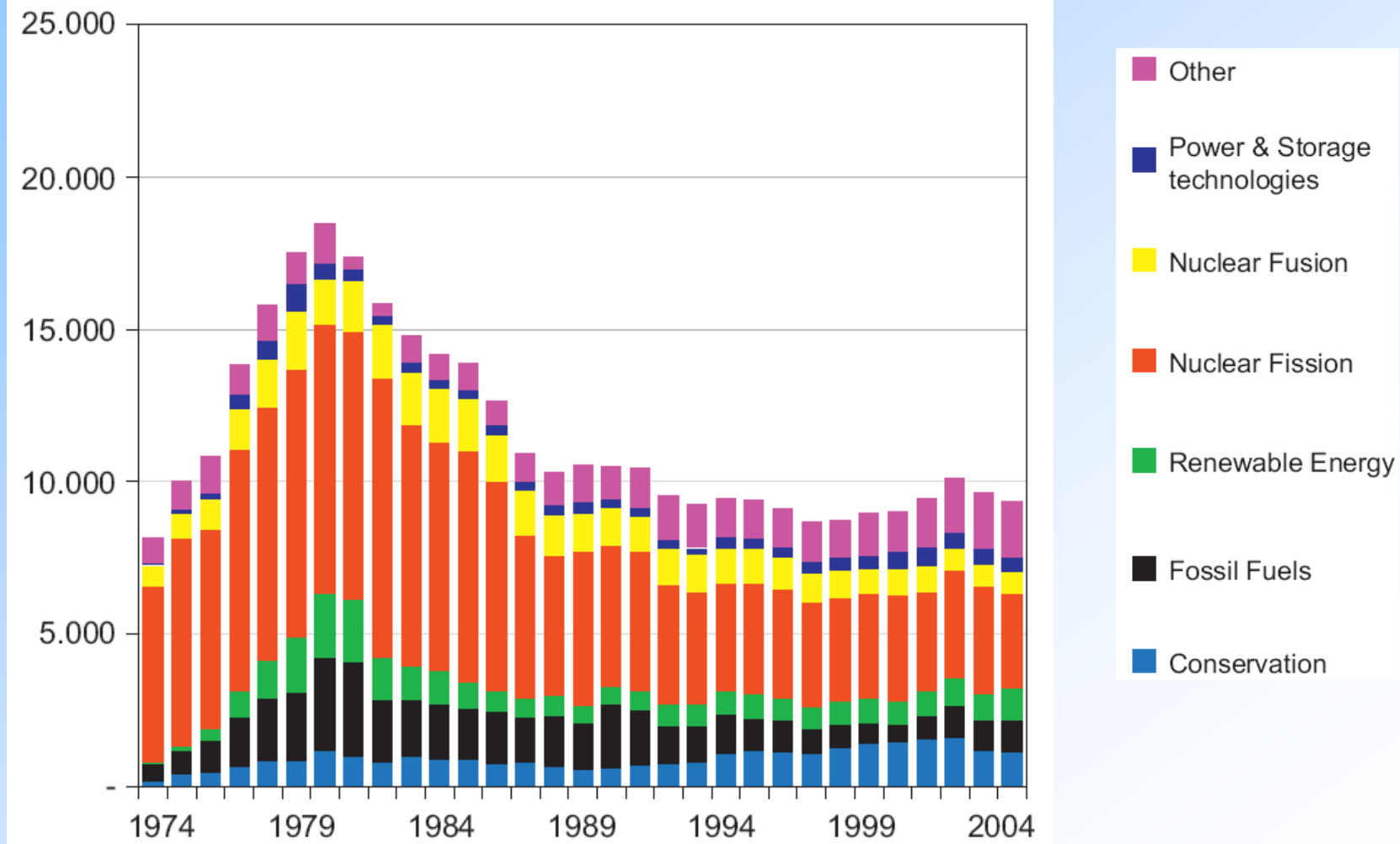
The bleak economic outlook makes it even less likely that nuclear will contribute to meeting governments' greenhouse-gas emission targets.

Britain, for example, is about to establish in law a commitment to an 80% reduction in greenhouse-gas emissions, compared with 1990 levels, by 2050 (see *Nature* 456, 13; 2008). To achieve





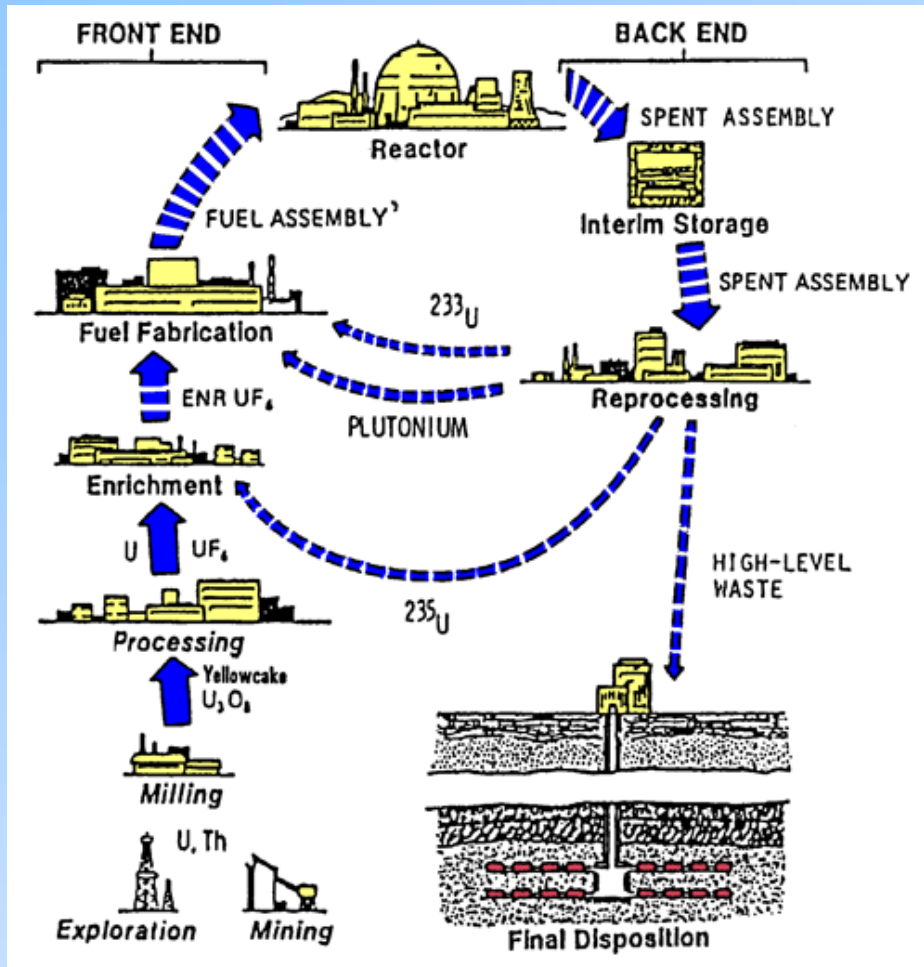
**NONOSTANTE LA CRISI**  
**OLTRE META' dei finanziamenti alla ricerca energetica dei governi**  
**negli ultimi 30 anni sono andati al nucleare**  
**(dati nazioni IEA, M\$ 2004)**



L'energia nucleare  
"contiene" grandi  
quantità di energia  
fossile



# L'energia nucleare "contiene" grandi quantità di energia fossile: il ciclo del combustibile nucleare



E' un processo costoso, delicato, inquinante che richiede rigidissimi controlli a tutti i livelli

**Il nucleare NON è un impianto, è una filiera industriale molto complessa dove l'errore NON è tollerato**

Fonte: United States Nuclear Regulatory Commission

# Fissione nucleare, il "payback time"

The energy payback time of nuclear energy is around 6½ years for light water reactors, and 7 years for heavy water reactors, ranging within 5.6-14.1 years, and 6.4-12.4 years, respectively.

## 2.5 Energy payback time

Energy intensity  $\eta$ , and energy ratios  $R_1$  and  $R_3$  are related to the *energy payback time*. This is the time  $t$  that it takes the energy supply system to generate an amount of electricity  $\frac{t E_{out}}{T}$  that – had it been generated conventionally – would have had a primary-energy embodiment  $\frac{1}{R_{1,fossil}} \frac{t E_{out}}{T}$  equal to the system's energy requirement  $E$ .

$$t_{payback} = \eta_1 \times T \times R_{1,fossil} = \frac{R_{1,fossil}}{R_1} T \quad (2.8)$$

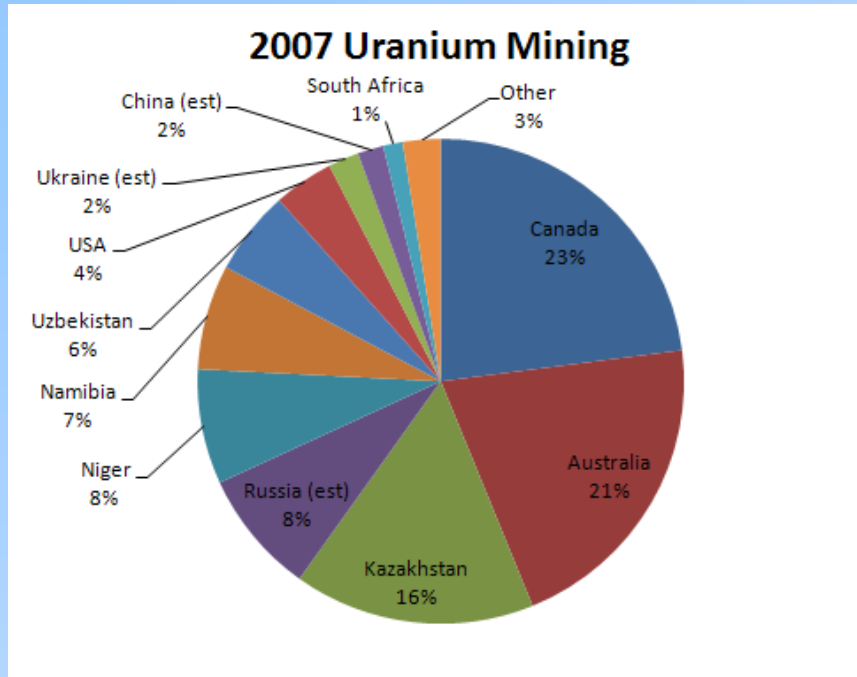
The energy payback time can be normalised just as the energy intensity. Note that the definition of an energy payback time implicitly assumes an initial energy sink associated with the construction of the energy supply system, followed by a continuous net energy source. This definition is less useful for technologies that are characterised with large energy sinks during stages towards the end of their lifetime [45]. Nuclear facilities, for example, require lengthy periods for dismantling and clean-up.



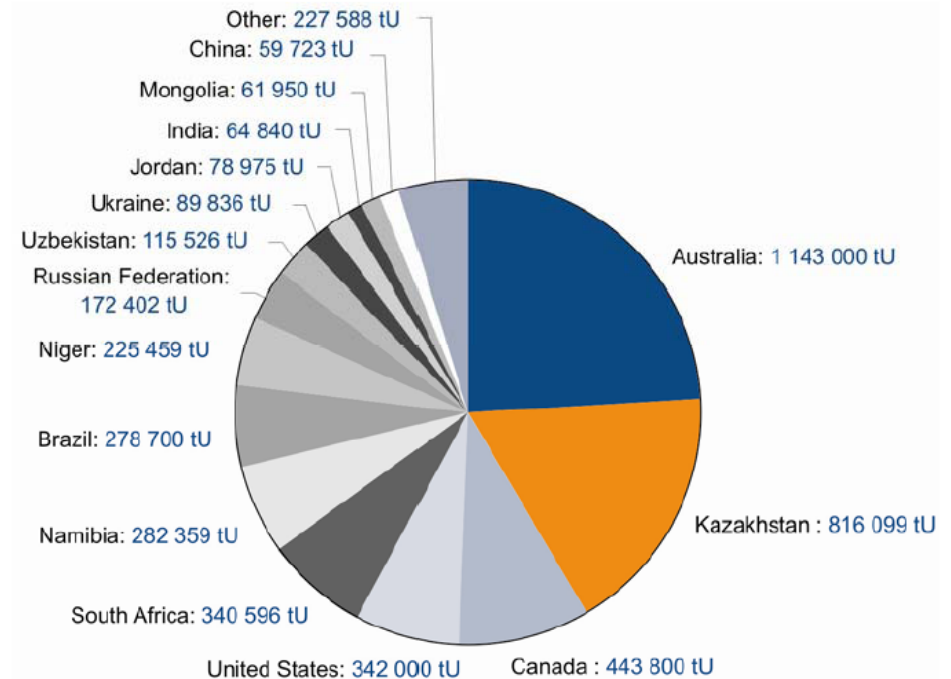
## Life-Cycle Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Energy in Australia



# Uranio: indipendenza energetica europea?



**Figure 6-4** Distribution of Identified Resources at US\$ 130/kgU  
Source: NEA/IAEA, 2006



**UN MITO DA SFATARE**

World Energy Council, *2007 Survey of Energy Resources*, p. 199-201

## Riserve di Uranio ( $^{235}\text{U}$ )

*"The reserves amount to 1600 quads. This is a pityfully small reserves: enough to supply te world's current energy demand for 15 years"*

R. Garwin, G. Charpak  
*Megawatts and Megatons*, A. A. Knopf, 2001, p. 210

**Agli attuali livelli di produzione  
l'uranio sarebbe esaurito in  
ca. 70 anni**

# IL PROBLEMA DELLA MESSA IN SICUREZZA DELLE SCORIE RADIOATTIVE RESTA **DEL TUTTO IRRISOLTO**



## Il progetto

**Partito nel 1982**

**Operativo nel 2020 (?)**

**Certificato sicuro per  
10 mila anni (???)**

**Costo a tutt'oggi:  
60 miliardi di dollari**

**Allo stato attuale servirebbe una nuova Yucca Mountain ogni 2 anni**

## Combustibile esausto: che fare?

- Quantità di combustibile esausto presso le centrali nucleari americane, in attesa di collocamento: **57000 ton**
- Percentuale di plutonio ed elementi transuranici: **1%**
- Alcune nazioni (non gli USA) riprocessano il combustibile esausto per estrarre **plutonio**.
- Ufficialmente nel mondo sono state separate **250 ton** di plutonio per per usi civili. Una quantità piccola?
- Dose carcinogenica per un essere umano: **un milionesimo di g**
- Con **250** tonnellate di plutonio si possono costruire più di **31000** bombe atomiche
- Il Regno Unito intende chiudere l'impianto di riprocessamento di Sellafield. Costo previsto: **92 miliardi di dollari**



# DA NON DIMENTICARE ...

AL DI LA' DEI PROBLEMI TECNICI ED ECONOMICI, L'ENERGIA NUCLEARE E' LA STRADA GIUSTA PER **RENDERE IL NOSTRO PIANETA PIU' SICURO?**



The New York Times  
nytimes.com

PRINTER-FRIENDLY FORMAT  
SPONSORED BY



October 28, 2008

## Rate of Nuclear Thefts 'Disturbingly High,' Monitoring Chief Says

By [NEIL MACFARQUHAR](#)

[UNITED NATIONS](#) — [Mohamed ElBaradei](#), the chief of the [International Atomic Energy Agency](#), said in a speech on Monday that the number of reports of nuclear or radioactive material stolen around the world last year was “disturbingly high.”

Dr. ElBaradei, in his annual report to the [General Assembly](#), said nearly 250 such thefts were reported in the year ending in June.

### NEWS IN BRIEF

#### Italian mafia accused of trafficking nuclear waste

Italy's anti-mafia squad has launched an official investigation into allegations of illegal trafficking and disposal of nuclear waste — as well as clandestine production of plutonium — by managers of the Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment (ENEA).

Eight former employees of ENEA's Trisaia research centre in the southern town of Rotondella, and two alleged members of the 'Ndrangheta mafia, are under suspicion following a decade-long inquiry. Trisaia is now a multidisciplinary research centre, but in the 1970s and 1980s it specialized in nuclear waste processing and storage.

A mafia informer told the anti-mafia bureau in Potenza that an ENEA manager paid the 'Ndrangheta mafia to get rid of 600 drums of nuclear and toxic waste from Germany, France, Switzerland and the United States in 1987. He claimed that the mafia disposed of the radioactive material at unauthorized, non-secure sites in southern Italy, Somalia and in the Mediterranean Sea.

Investigators also suspect that the centre illegally produced plutonium during the 1980s, which the mafia allegedly sent to Iraq. ENEA denies all charges and says

*Nature 2007, 449, 768*

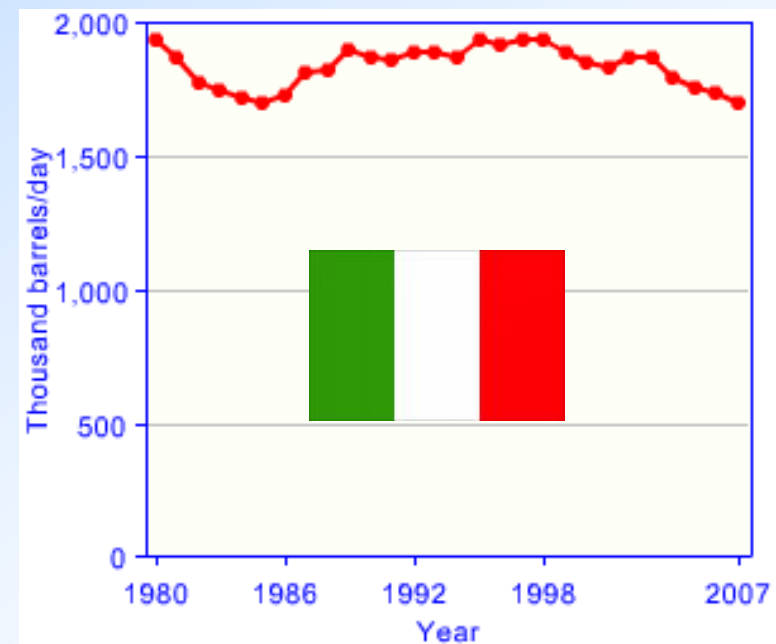
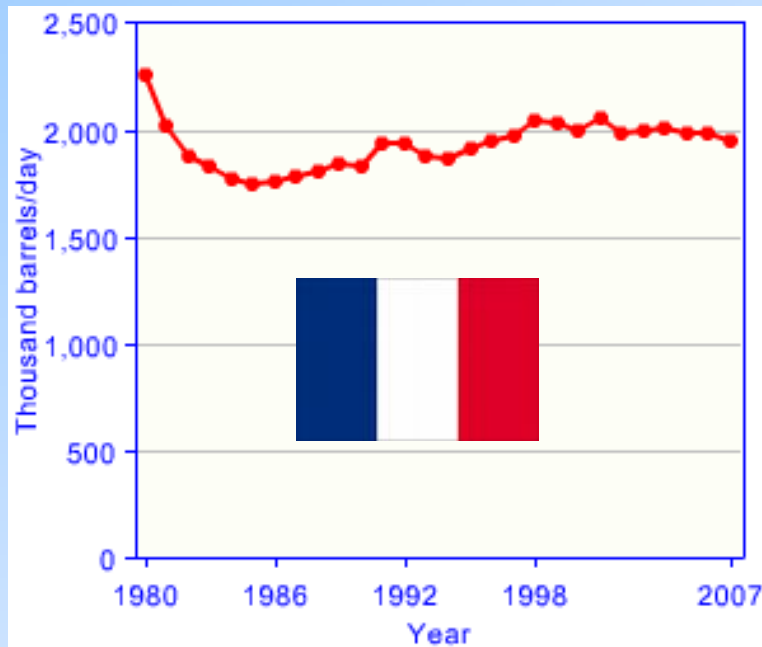
**PER CONCLUDERE ...  
TORNIAMO  
ALL'ITALIA**

**VARI MITI DA SFATARE**

# IL NUCLEARE SOSTITUISCE IL PETROLIO (?)

Produzione elettrica per via nucleare:  
Francia 78%, Italia 0% (n. di abitanti: identico, ~ 60 mil.)

## CONSUMI DI PETROLIO



Fonte: EIA, U.S. Dept. of Energy, 2009

## L'ITALIA E' ALLA DISPERAZIONE ELETTRICA (?)

L'offerta di elettricità in Italia è **significativamente superiore alla domanda**, grazie ai numerosi impianti entrati in esercizio negli ultimi anni, tendenza che peraltro non è destinata a fermarsi: è infatti prevista nei prossimi anni l'entrata in funzione di **nuova generazione per 7000 MW circa entro il 2009**, garantendo quindi una costante e soddisfacente copertura delle punte e **rendendo teoricamente possibile anche l'esportazione di energia in maniera non episodica** (compatibilmente con la necessità di garantire la sicurezza del Paese in termini di approvvigionamento di gas).

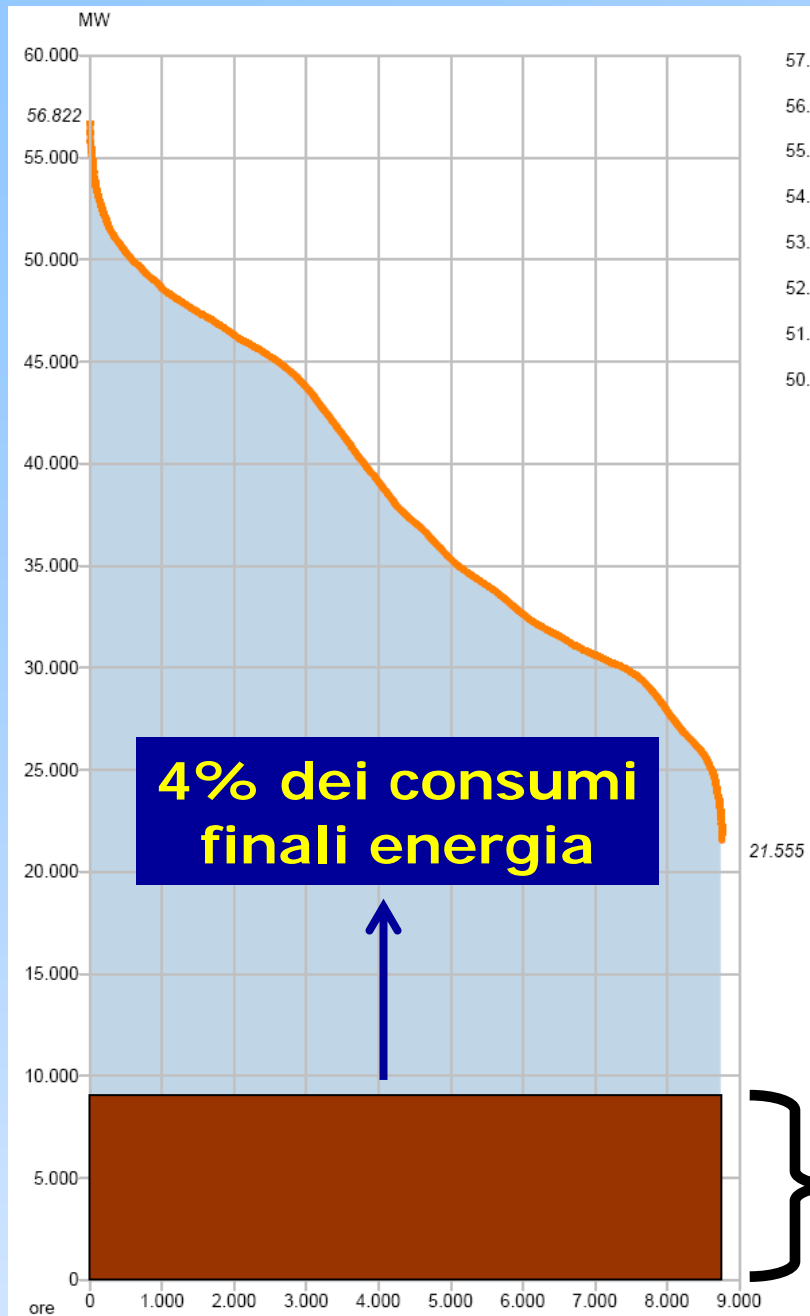
**Autorità per l'Energia ed il Gas  
Piano Strategico 2007-2009  
All. A, pag. 6**

**NB: La potenza elettrica installata in Italia è di 94 GW a fronte di una richiesta di picco di 57 GW per poche ore l'anno  
DATI TERNA ([www.terna.it](http://www.terna.it))**

# Il ventilato progetto italiano: quanto fornirebbe?

**Curva di durata della  
potenza oraria richiesta  
sulla rete italiana nel 2007**

Report Terna 2008



**4% dei consumi  
finali energia**

Tempi non inferiori ai  
**10 anni**, investimenti  
per oltre **40 mld. €**

**ca. 8000 MW**

# Requisiti base per il lancio di un programma nucleare

- Decine di miliardi di **capitali privati** da investire (italiani?)
- Un **quadro legislativo** chiaro e lineare
- Costituzione di un'**autorità pubblica** di controllo
- Disponibilità dello Stato a coprire i **costi non previsti**
- Un sistema industriale "pesante" per stipulare contratti di fornitura a **lungo termine**
- **Siti** che presentano i requisiti necessari (bassa sismicità, bassa densità di popolazione, abbondanza d'acqua)
- **Accettabilità** sociale e soprattutto ...
- **CREDIBILITA'** negli apparati dello Stato: organismi esecutivi, agenzie di controllo, macchina giudiziaria
- **LAST BUT NOT LEAST**: perpetuamento di un sistema di produzione e distribuzione elettrica rigido e centralizzato

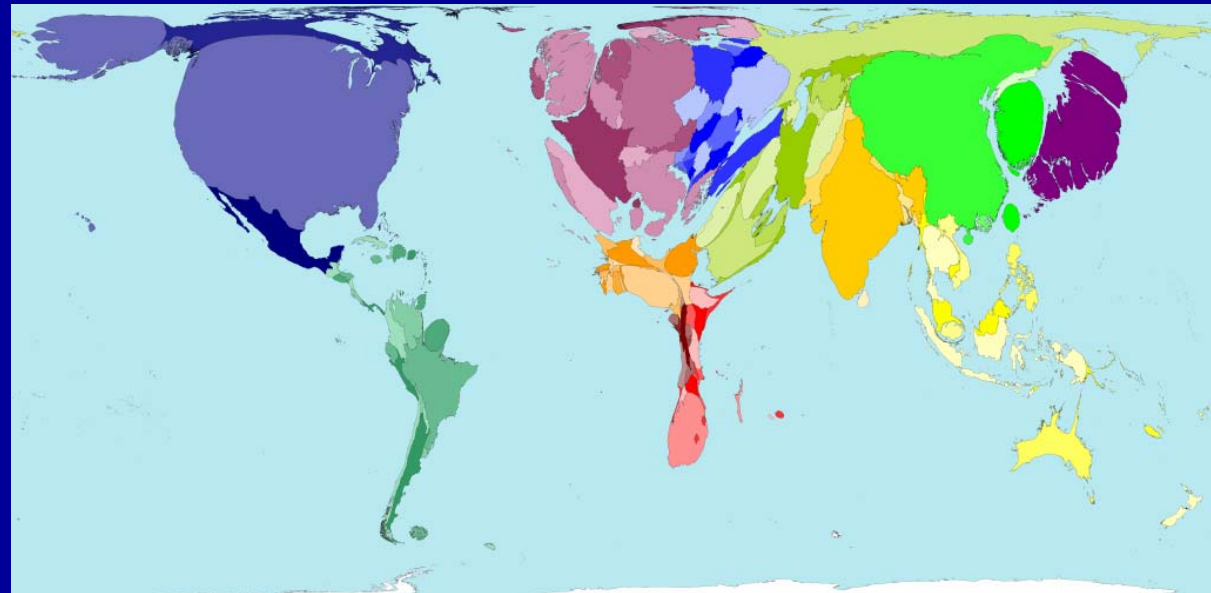
# L'Italia si trova in una situazione di imbarazzante ritardo sulle fonti energetiche "domestiche"

- La potenza eolica pro capite installata in **Spagna** è **7,5 volte** quella italiana
- La potenza fotovoltaica pro capite installata in **Germania** è **30 volte** maggiore di quella italiana
- In **Austria** ci sono **350** metri quadrati di pannelli solari termici per mille abitanti, in **Italia 15**

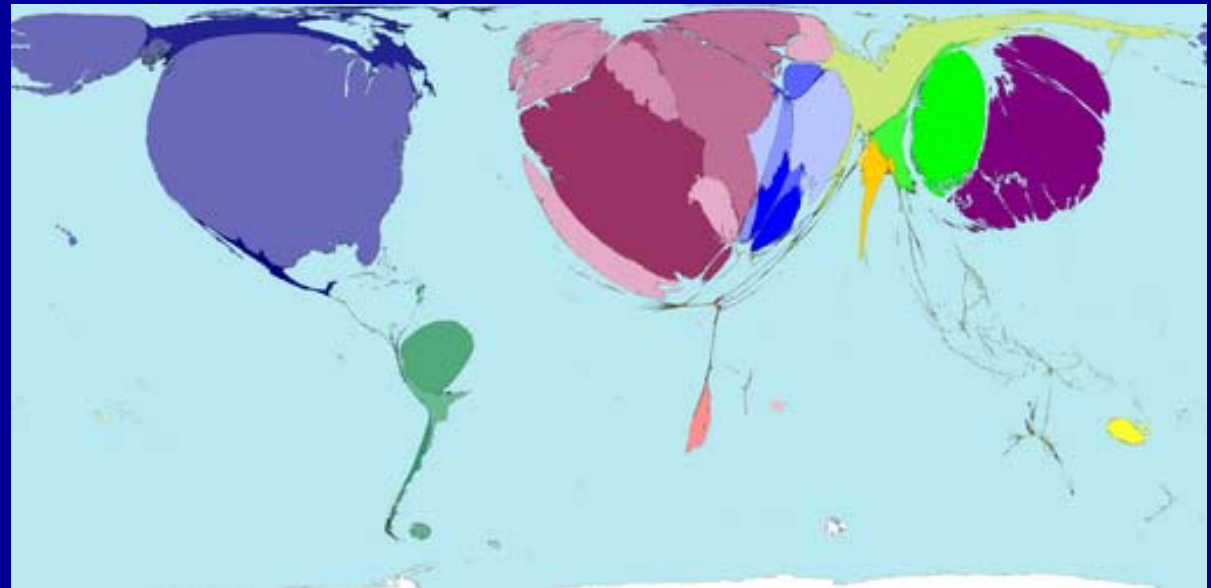


# Energia per i ricchi o per i poveri?

**CONS.  
ENERGIA  
PRIMARIA**



**PRODUZ.  
ENERGIA  
NUCLEARE**



<http://www.worldmapper.org/>  
© The University of Sheffield, UK  
The University of Michigan, USA





Messico

Stati Uniti

Il confine fra  
Stati Uniti e  
Messico

*“Un politico pensa alle prossime elezioni, uno statista pensa alla prossima generazione”.*

Alcide De Gasperi

[www.energiaperilfuturo.it](http://www.energiaperilfuturo.it)

 Istituto per la Sintesi Organica  
e la Fotoreattività

 CONSIGLIO NAZIONALE  
DELLE RICERCHE

nicola.armaroli@isof.cnr.it