



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Parte 1 - La questione energetica

Parte 2 - L'energia nucleare come fonte energetica: fissione e fusione

Gilio Cambi

INFN Bologna & Dipartimento di Fisica Università di Bologna

Pesaro, 23 e 30 Maggio 2012

Fossombrone, 1 e 5 Giugno 2012



La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

Sommario

- ❖ **La questione energetica: consumi e prospettive**
- ❖ **Energia da reazioni nucleari: fissione e fusione**
- ❖ **La fissione nucleare:
le sue basi fisiche
la tecnologia (impianti nucleari attuali e futuri)**
- ❖ **La fusione nucleare:
le sue basi fisiche
la tecnologia
l'impianto ITER**

**Pesaro, 23 e 30 Maggio 2012
Fossombrone, 1 e 5 Giugno 2012**



La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive

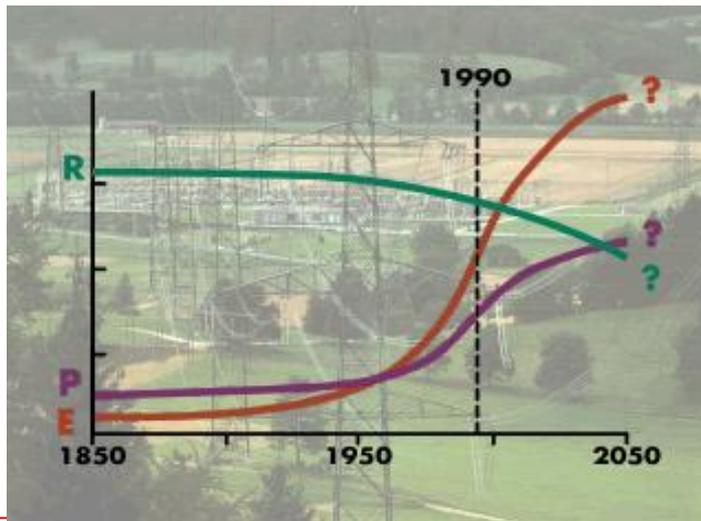


FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

La Domanda di Energia : Il trend

Lo sviluppo dell'umanità non può farsi senza risorse energetiche, almeno secondo il nostro attuale modello di sviluppo.

La crescita della popolazione mondiale e della domanda di energia porterà, nel prossimo futuro, ad un deficit energetico difficilmente colmabile con le riserve conosciute di combustibili fossili (*riserve non rinnovabili, che tendono a diminuire*).



- R: risorse non rinnovabili
- P: popolazione mondiale
- E: consumo energetico

Domanda:
come affrontare e/o risolvere il problema ?



La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Secondo molte stime (vedi ad es. [1]) il consumo di energia a livello mondiale potrebbe raddoppiare o triplicare, rispetto al valore attuale, entro il 2050. Tutte le prospettive economiche mostrano che i bisogni energetici aumenteranno continuamente. L'ampiezza di tali aumenti varia a seconda del tipo di scenario considerato (livello di crescita economica, messa in conto o no dei vincoli ambientali, ecc.) ma comunque dipende da due cause principali:

- 1) l'aumento della popolazione mondiale, che dovrebbe passare dai 6 miliardi del 2000 a 10 miliardi nel 2050;**
- 2) l'aumento dei bisogni energetici dei paesi in via di sviluppo**

[1] Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050, World Energy Council 2007

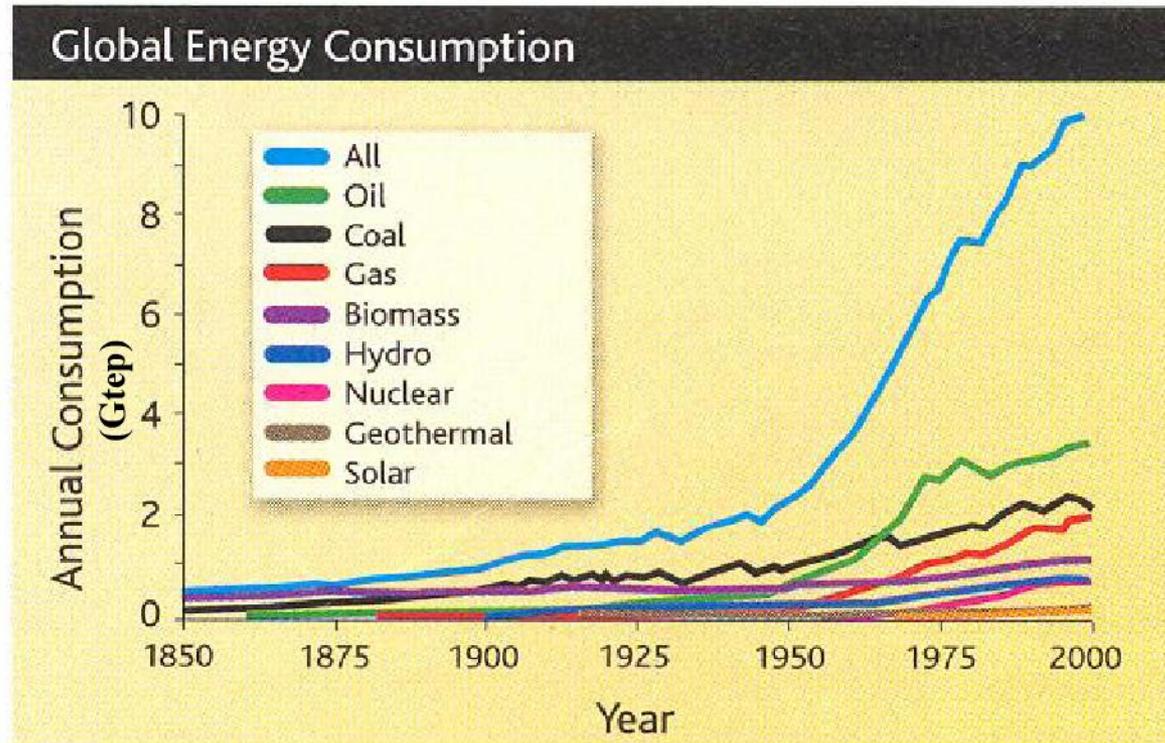


La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Il consumo totale di energia nel mondo è (valutazione anno 2000) di circa 10 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio (tep).





La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Consumo di energia nel mondo nel 2008

REGIONE	Consumo totale [Mtep]	Consumo per fonti energetiche				
		Petrolio [Mtep]	Gas [Mtep]	Carbone [Mtep]	Nucleare [Mtep]	Idroelettrico [Mtep]
Nord America	2.799	1.076,6	751,2	606,9	215,4	148,9
Centro e Sud America	579,6	270,3	128,7	23,3	4,8	152,5
Europa-Eurasia	2.964,6	955,5	1.029,6	522,7	276,7	180,2
Medio Oriente	613,5	306,9	294,4	9,4	-	2,8
Asia Pacifico	3.981,9	1.183,4	436,8	2.031,2	119,8	210,8
Africa	356,0	135,2	85,4	110,3	3,0	22,2
TOTALE	11.294,9	3.927,9	2.726,1	3.303,7	619,7	717,5
<i>Contributo percentuale</i>		34,8%	24,1%	29,2%	5,5%	6,4%

Fonte: BP Statistical Review of World Energy (giugno 2009)

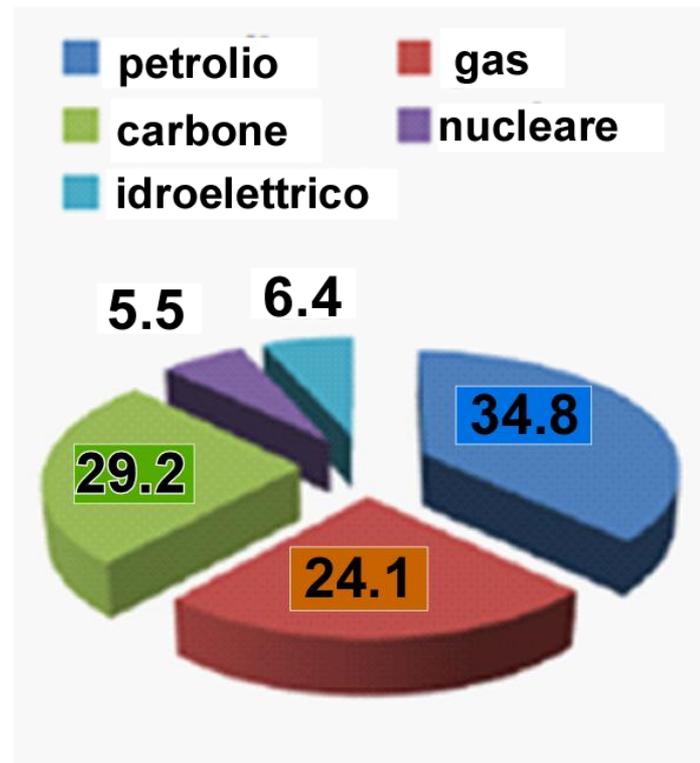


La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Consumo di energia nel mondo nel 2008 Fonti utilizzate (contributi percentuali)





La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



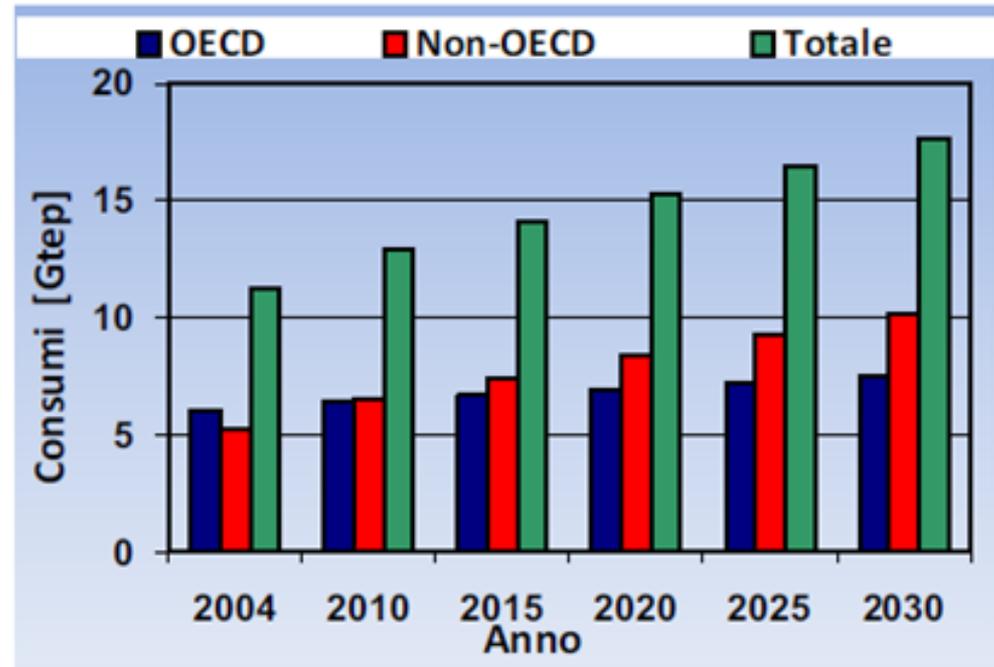
FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Previsioni di crescita dei consumi di energia [in Gtep] nel periodo 2004-2030

(fonte: EIA-International Energy Outlook 2007).

OECD

Organization for Economic
Cooperation and Development



A seconda dello scenario considerato, il consumo mondiale complessivo di energia sarà compreso tra 14 e 27 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio (tep) nel 2050 e tra 18 e 45 tep nel 2100.



La questione energetica: Aggiornamento al 2010



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Da: BP Statistical Review of World Energy (giugno 2011) - (1)
([bp.com/statisticalreview](http://www.bp.com/statisticalreview))

<http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>

2010 in review

Overview

Global energy consumption in 2010 rebounded strongly, driven by economic recovery. The growth in energy consumption was broad-based, with mature OECD economies joining non-OECD countries in growing at above-average rates. All forms of energy grew strongly, with growth in fossil fuels suggesting that global CO₂ emissions from energy use grew at the fastest rate since 1969. Energy price developments were mixed. Oil prices remained in the \$70-80 range for much of the year before rising in the fourth quarter. With the OPEC production cuts implemented in 2008/09 still in place, average oil prices for the year as a whole were the second-highest on record. Natural gas prices grew strongly in the UK and in markets indexed to oil prices (including much of the world's LNG); but prices remained weak in North America – where shale gas production continued to increase – and in continental Europe (partly due to a growing share of spot-priced deliveries). Coal prices remained weak in Japan and North America, but rose strongly in Europe.



La questione energetica: Aggiornamento al 2010



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Da: BP Statistical Review of World Energy (giugno 2011) - (2)
(bp.com/statisticalreview)

World primary energy consumption – which this year includes for the first time a time series for commercial renewable energy – grew by 5.6% in 2010, **the largest increase (in percentage terms) since 1973**. Consumption in OECD countries grew by 3.5%, the strongest growth rate since 1984, although the level of OECD consumption remains roughly in line with that seen 10 years ago. Non-OECD consumption grew by 7.5% and was 63% above the 2000 level. Consumption growth accelerated in 2010 for all regions, and growth was above average in all regions. Chinese energy consumption grew by 11.2%, and China surpassed the US as the world's largest energy consumer. Oil remains the world's leading fuel, at 33.6% of global energy consumption, but oil continued to lose market share for the 11th consecutive year.

Global energy consumption; the strongest growth since 1973.

+5.6%

China's share of global energy consumption; the world's largest.

20.3%



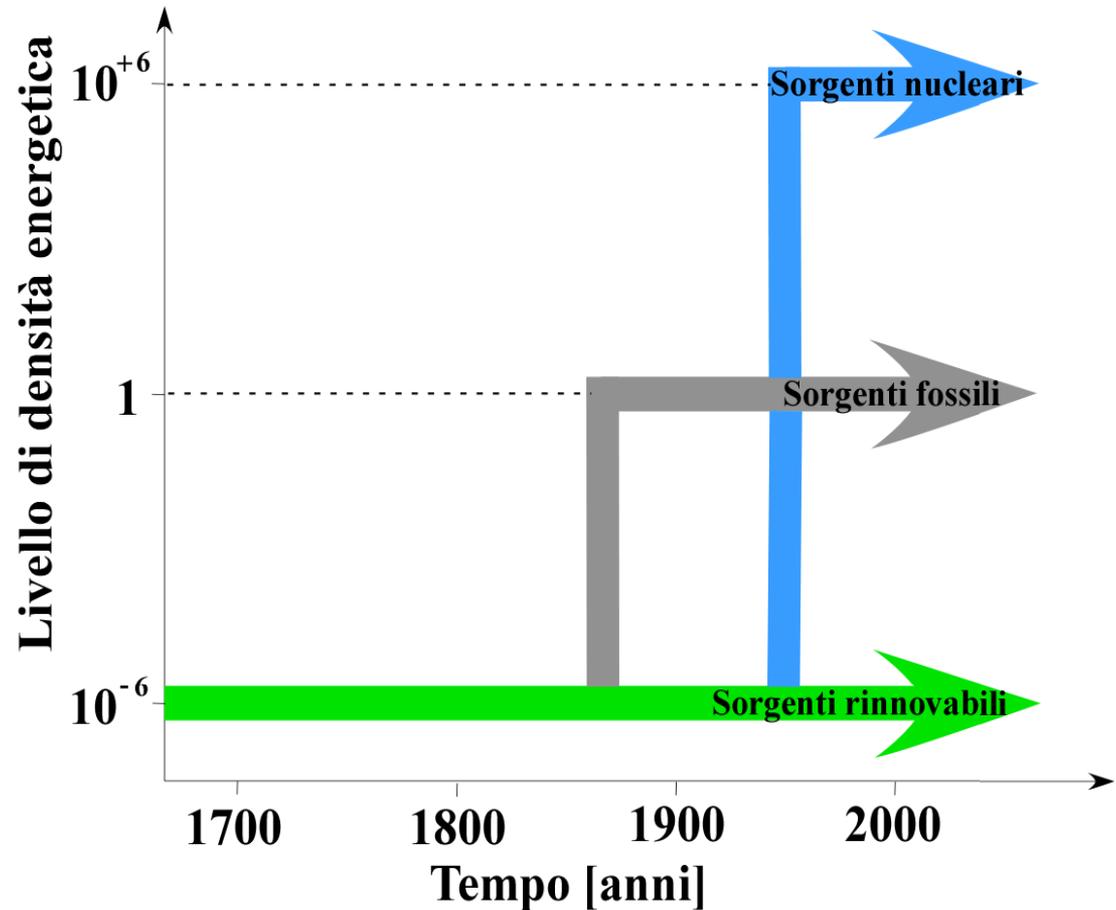
La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

E' quindi evidente che l'aumento dei bisogni energetici porterà all'utilizzo di sorgenti energetiche in grado di fornire una maggiore quantità di energia per unità di massa consumata (cioè a **sorgenti con elevata densità energetica**).

Considerando come livello di riferimento (valore = 1) la densità di energia associata alle sorgenti "fossili", la densità di energia associata alle sorgenti "nucleari" ha un valore (relativo) di 1 milione. Per le sorgenti "rinnovabili" tale valore relativo diviene 1 milionesimo.





La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

La differenza fondamentale tra sorgenti fossili e sorgenti nucleari è che le **prime** si basano su reazioni chimiche che mettono in gioco fenomeni (ad esempio la combustione) che avvengono a livello degli elettroni degli atomi dei combustibili (petrolio, gas, carbone) mentre le **secondo** si basano su reazioni nucleari che mettono in gioco fenomeni (quali la fissione e la fusione) che avvengono a livello dei nuclei degli atomi dei combustibili (uranio, deuterio, trizio).

Esempio di reazione chimica

combustione del metano



$$1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$$

Esempio di reazione nucleare

fissione U^{235}



$$1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ J}$$



La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Fonti energetiche

In merito al loro utilizzo si distinguono fonti di energia primarie e secondarie

- A. Primarie** : quelle presenti in natura prima di avere subito una qualunque trasformazione. Sono fonti primarie:
- le fonti energetiche esauribili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone, materiali fissili)
 - le fonti di energia rinnovabili quali energia solare, eolica, idrica, biomasse, geotermica.
- B. Secondarie** : quelle che derivano, in qualunque modo, da una trasformazione di quelle primarie. Sono fonti secondarie, per esempio
- la benzina (perché deriva dal trattamento del petrolio greggio),
 - il gas di città (che deriva dal trattamento di gas naturali),
 - l'energia elettrica (trasformazione di energia meccanica o chimica).

**La più diffusa forma di energia secondaria è l'energia elettrica:
è trasportabile economicamente, trasformabile e misurabile**



La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

La crescita della domanda di elettricità sarà, *verosimilmente*, ancora superiore, percentualmente, alla crescita del consumo globale di energia.

L'esaurimento dei combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) ed il difficile utilizzo delle fonti di energie rinnovabili (solare, eolica, ecc.) nella produzione di energia centralizzata in grado di sopperire ai bisogni dei paesi a forte densità di popolazione (o a paesi con forti concentrazioni locali della popolazione) rende indispensabile (??) lo sviluppo e l'utilizzo di altre fonti di energia, ad alta densità di energia quale l'energia nucleare (sia da **fissione** che da **fusione**).

Su queste fonti di energia primaria (fissione e fusione nucleare**) si concentreranno ora i nostri sforzi, con particolare riferimento al loro utilizzo per la *produzione di energia elettrica***