



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 ed Astronomia Università di Bologna

Pesaro, 22 e 29 Maggio 2013



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**



La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive

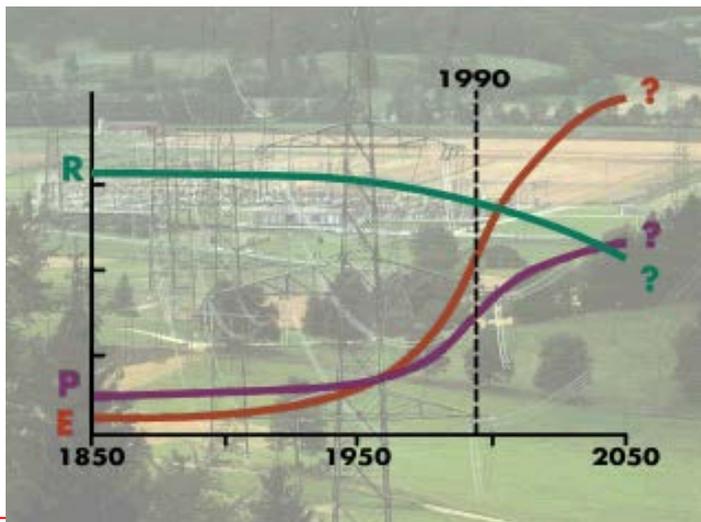


FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

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

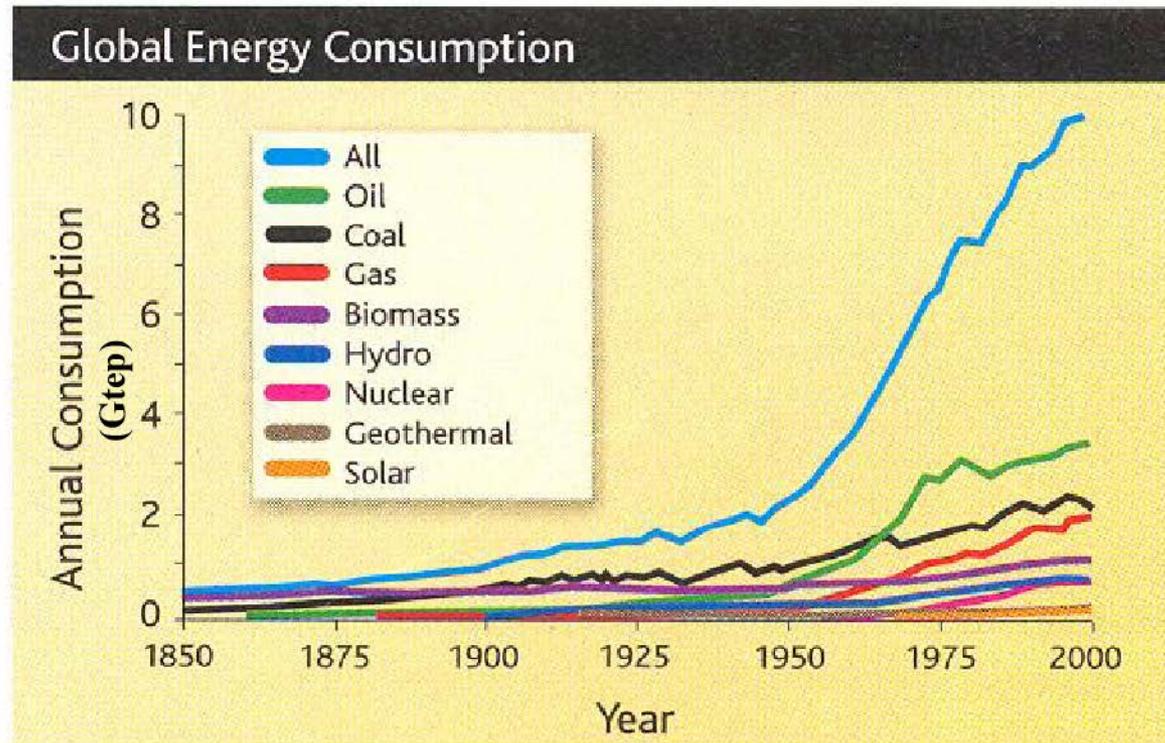


La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



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 2011

REGIONE	Consumo totale [Mtep]	Consumo per fonti energetiche					
		Petrolio [Mtep]	Gas [Mtep]	Carbone [Mtep]	Nucleare [Mtep]	Idroelettrico [Mtep]	Rinnovabili [Mtep]
Nord America	2773.3	1026.4	782.4	533.7	211.9	167.6	51.4
Centro e Sud America	642.5	289.1	139.1	29.8	4.9	168.2	11.3
Europa-Eurasia	2923.4	898.2	991.0	499.2	271.5	179.1	84.3
Medio Oriente	747.5	371.0	362.8	8.7	-	5.0	0.1
Asia Pacifico	4803.3	1316.1	531.5	2553.2	108.0	248.1	46.4
Africa	384.5	158.3	98.8	99.8	2.9	23.5	1.3
TOTALE	12274.6	4059.1	2905.6	3724.3	599.3	791.5	194.8

Fonte: BP Statistical Review of World Energy (giugno 2012)

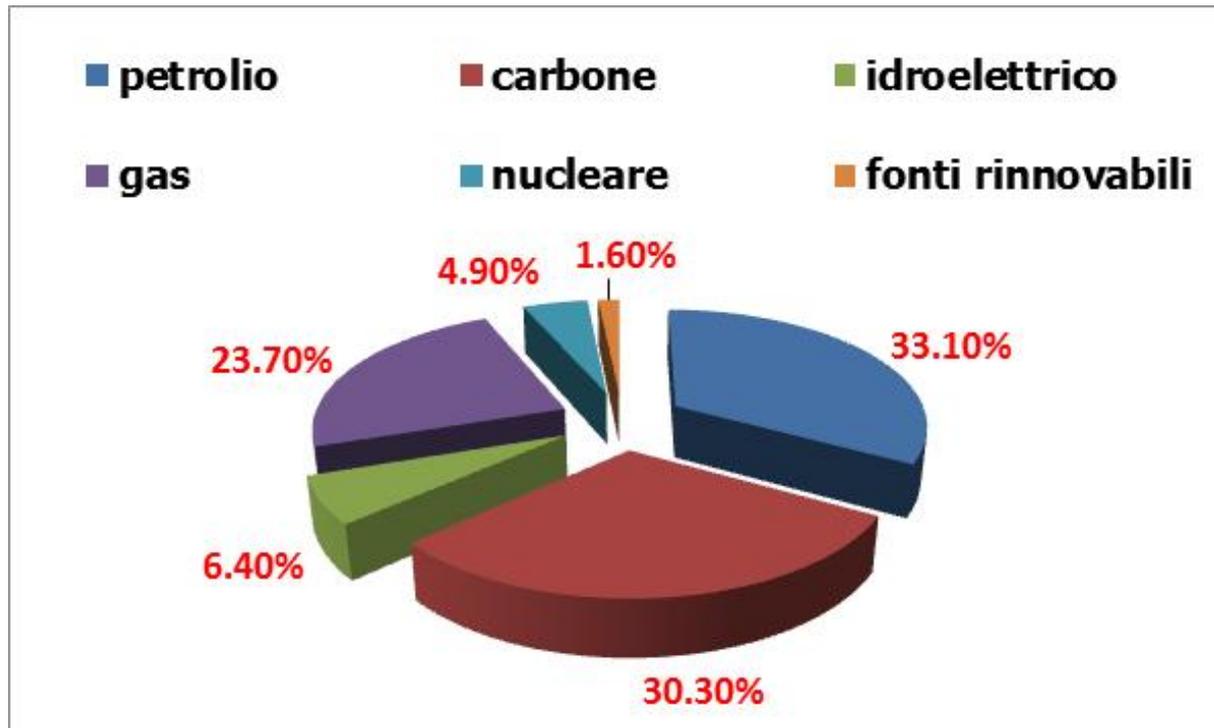


La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Consumo di energia nel mondo nel 2011 Fonti utilizzate (contributi percentuali)





La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



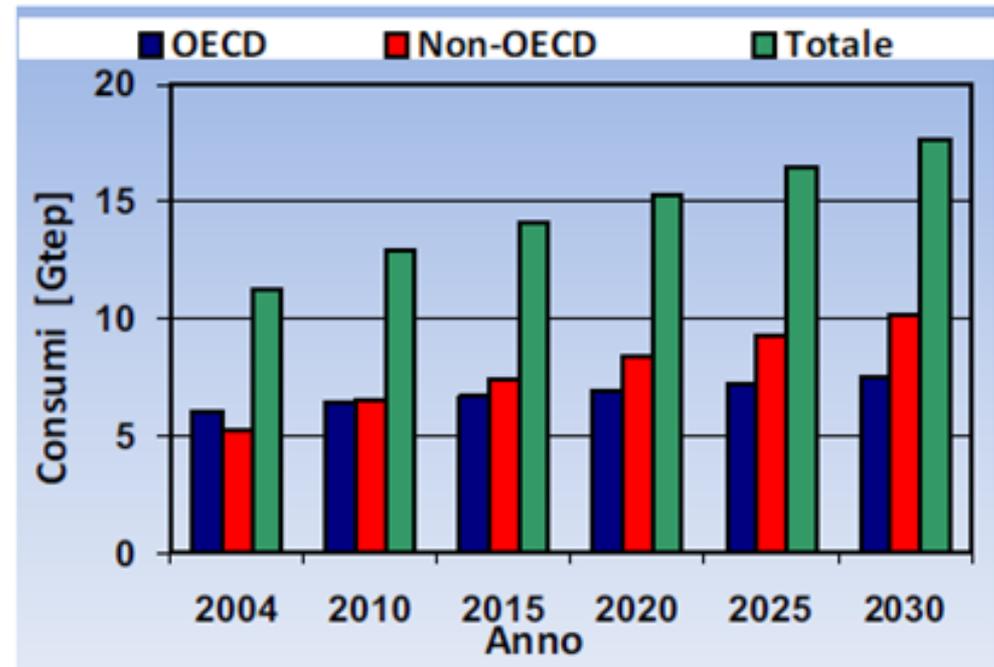
FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

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

(fonte: EIA-International Energy Outlook 2007).

OECD

Organization for **E**conomic
Cooperation and **D**evelopment



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/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>

Alcune considerazioni riguardanti il 2010 Overview

Il consumo globale di energia è rimbalzato fortemente nel 2010, pilotato dal recupero economico mondiale. La velocità media di crescita dei paesi OECD è simile a quella dei paesi non-OECD. Tutte le forme di produzione di energia aumentano. In particolare l'aumento di consumo di combustibili fossili ha prodotto il maggior tasso di crescita (dal 1969) della emissione globale di CO₂. I costi di produzione dell'energia sono diversi (per le varie fonti energetiche) nelle diverse aree del mondo.



La questione energetica: Aggiornamento al 2010



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

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

Il consumo mondiale di energia – che quest’anno comprende anche alcuni tipi “commerciali” di energie rinnovabili aumenta del 5.6% nel 2010, **il più elevato (in termini percentuali) dal 1973**. Il consumo nei **paesi OECD** è aumentato del 3.5%, il più alto dal 1984, anche se sostanzialmente in linea con i precedenti 10 anni. Per i paesi **Non-OECD** il consumo è cresciuto del 7.5% ed è circa il 63% sopra al livello del 2000. Tale maggior crescita riguarda tutte le aree dei paesi non-OECD, ma con una marcata crescita per la Cina (che raggiunge il 11.2%). La Cina sorpassa gli USA come consumo di energia. Il petrolio rimane la maggior fonte di produzione di energia mondiale (33.6% del consumo globale), anche se per l’ 11° anno consecutivo continua la decrescita del suo consumo

Consumo globale di energia: il più alto dal 1973.

+5.6%

Cina: la più elevata frazione del consumo mondiale di energia.

20.3%



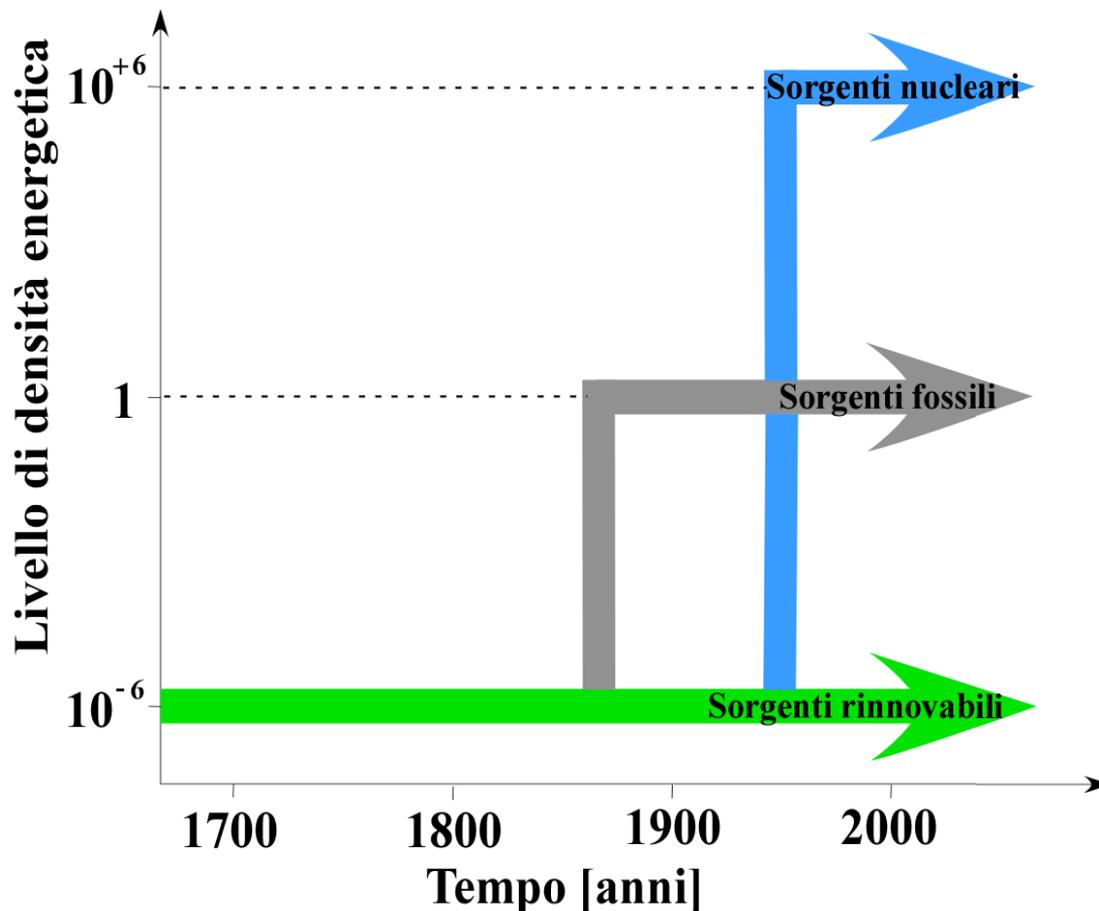
La questione energetica: implicazioni, problematiche e prospettive



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

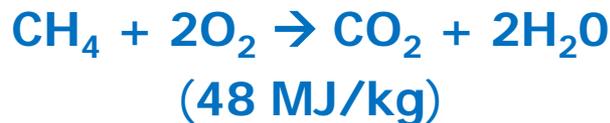


FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

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 MJ = 10^6 J

Esempio di reazione nucleare

fissione U^{235}



1 TJ = 10^{12} 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*