

# Clima e composizione dell'atmosfera: fatti certi e ipotesi da verificare.

*Maurizio Persico*

*Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale  
Università di Pisa*

Cultura e metodo scientifico. La Limonaia, Pisa, 26 aprile 2012.

Ghiacciaio di Indren (gruppo del M. Rosa) nel 1920 e nel 2000.

1920



2000



Ghiacciaio sommitale del Kilimangiaro nel 1993 e nel 2000.

1993



2000



# Il bilancio energetico della Terra

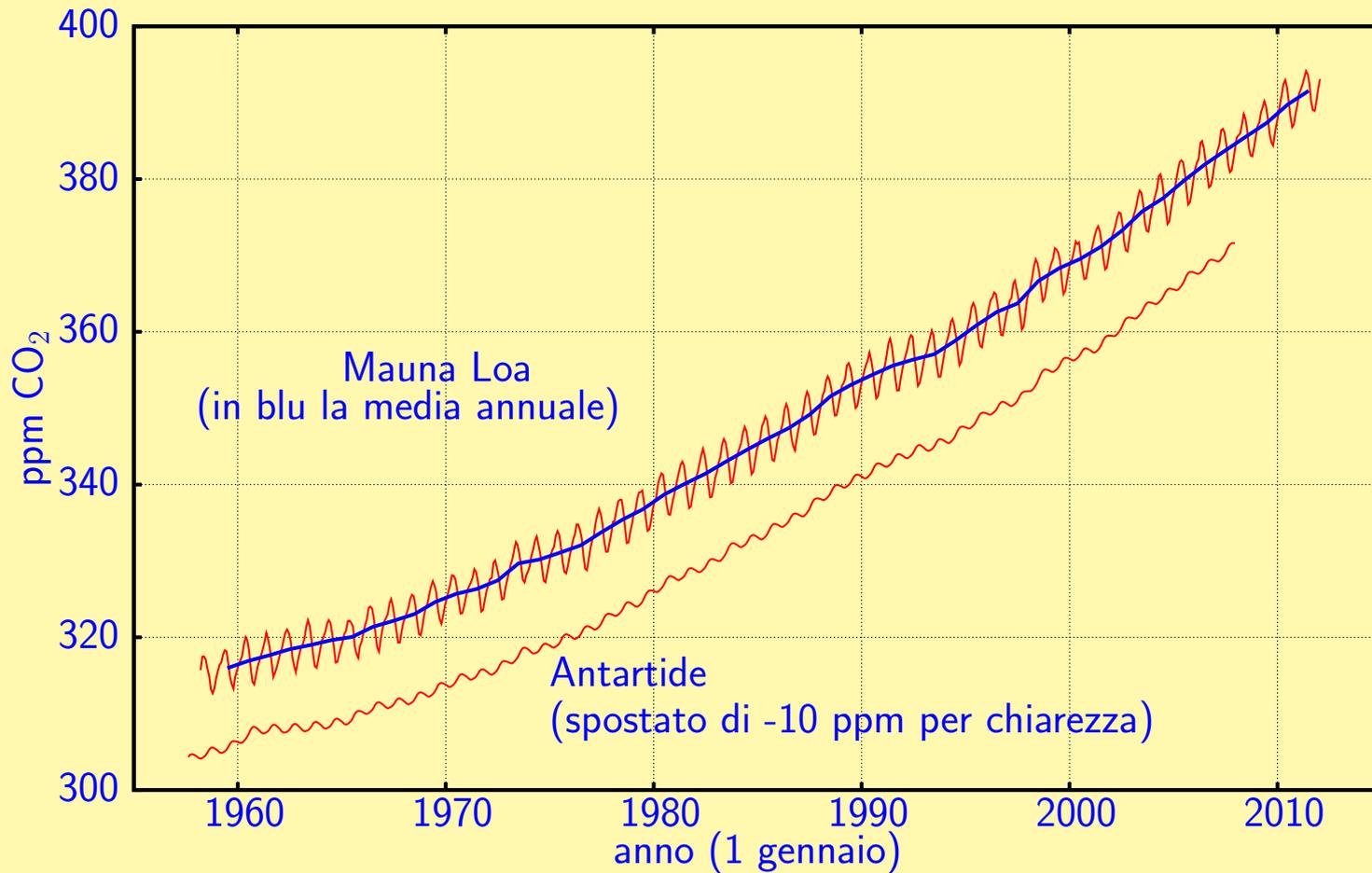
- La Terra riceve energia dal Sole, sotto forma di luce ( $I_S = 1370 \text{ W/m}^2$ ).
- Una frazione  $A \simeq 0.30$  della luce solare è riflessa o diffusa, soprattutto dalle nubi e dai ghiacciai (albedo).
- La frazione restante  $1 - A$  è assorbita, in gran parte dal suolo e dai mari, che a loro volta riscaldano l'atmosfera dal basso.
- Tutti i corpi emettono onde elettromagnetiche, e quindi energia: luce infrarossa a temperatura ambiente, visibile da circa  $600^\circ\text{C}$  in su. Anche la Terra emette nell'infrarosso, e così rinvia nello spazio l'energia ricevuta dal Sole. La potenza emessa per unità di superficie dipende dalla quarta potenza della temperatura assoluta:  $I_T = \sigma T^4$ .
- L'energia ricevuta e quella riemessa devono equivalersi, almeno lungo un ciclo annuale, altrimenti ci sarebbe un rapido riscaldamento o raffreddamento; perciò la temperatura della superficie terrestre si aggiusta finché è rispettato il bilancio:  $I_S(1 - A) = 4\sigma T^4$ .
- In base a questo ragionamento, la temperatura della superficie terrestre dovrebbe essere  $T = 255 \text{ K}$ , ossia  $-18^\circ\text{C}$ .

## Il ragionamento di Arrhenius

- Non tutta la luce infrarossa emessa dalla superficie terrestre si disperde nello spazio. Una parte viene assorbita da alcuni gas (vapore acqueo, anidride carbonica, metano e altri, ma non l'ossigeno e l'azoto), presenti in piccole concentrazioni. Questi gas riemettono l'energia assorbita in tutte le direzioni, verso il basso come verso l'alto. Solo una frazione  $B \simeq 0.60$  dell'energia emessa dal suolo arriva nello spazio.
- Il bilancio va quindi riscritto tenendo conto di questo “effetto serra”:  $I_S(1 - A) = 4\sigma BT^4$ . La temperatura della superficie terrestre deve allora essere più alta: in media 287 K, ossia 14°C.
- Bruciando carbone e petrolio, aumentiamo la concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nell'atmosfera.
- La CO<sub>2</sub>, a concentrazioni ragionevoli, non fa male a nessuno, ma aumenta l'effetto serra.
- Quindi, grazie al progresso tecnico e industriale, siamo in grado di migliorare il clima della Terra. In Svezia farà più caldo!

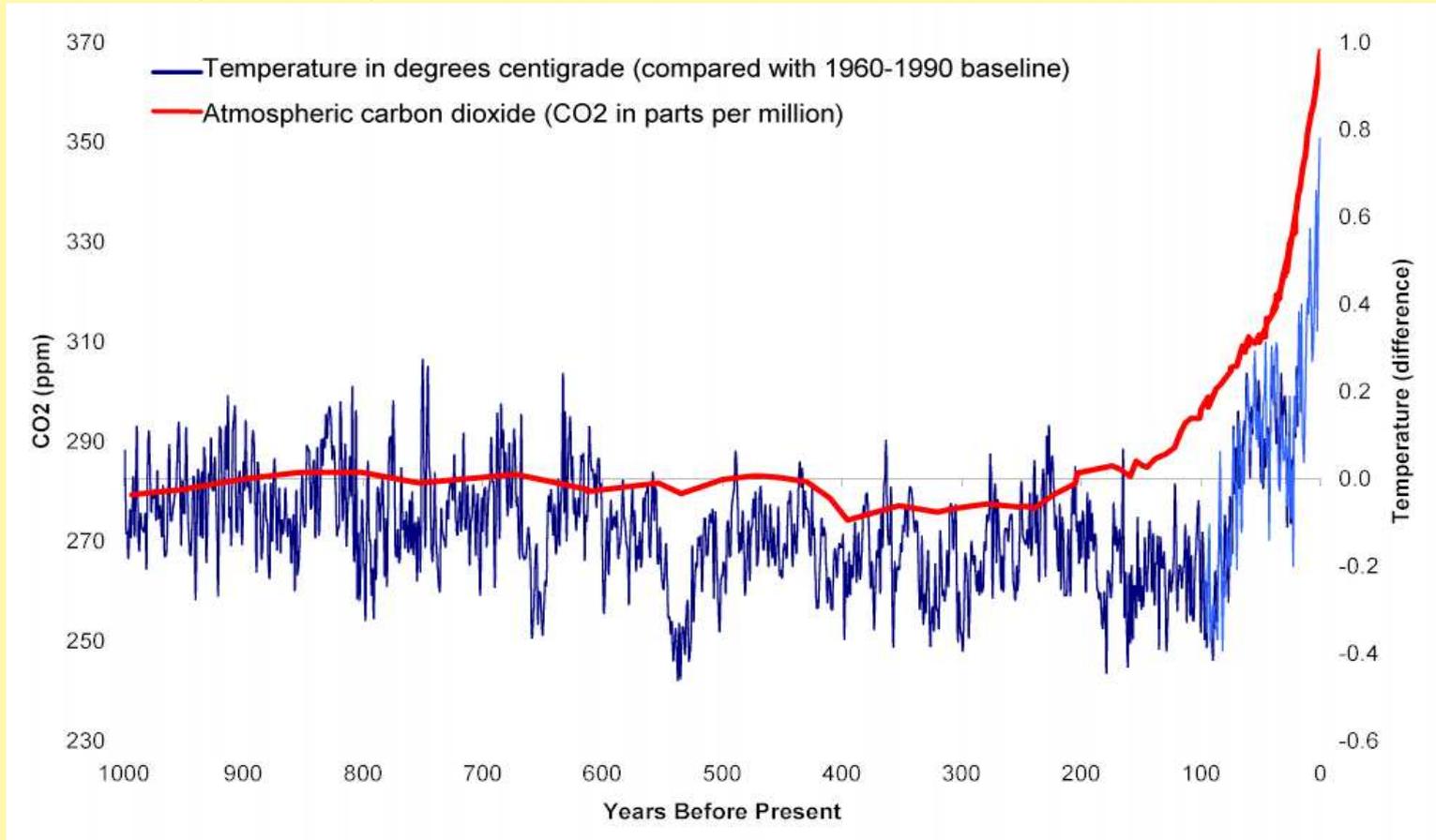
# L'aumento dell'anidride carbonica.

Concentrazioni di CO<sub>2</sub> (ppm), misurate ogni mese presso l'osservatorio del Mauna Loa (Hawaii) ed al Polo Sud



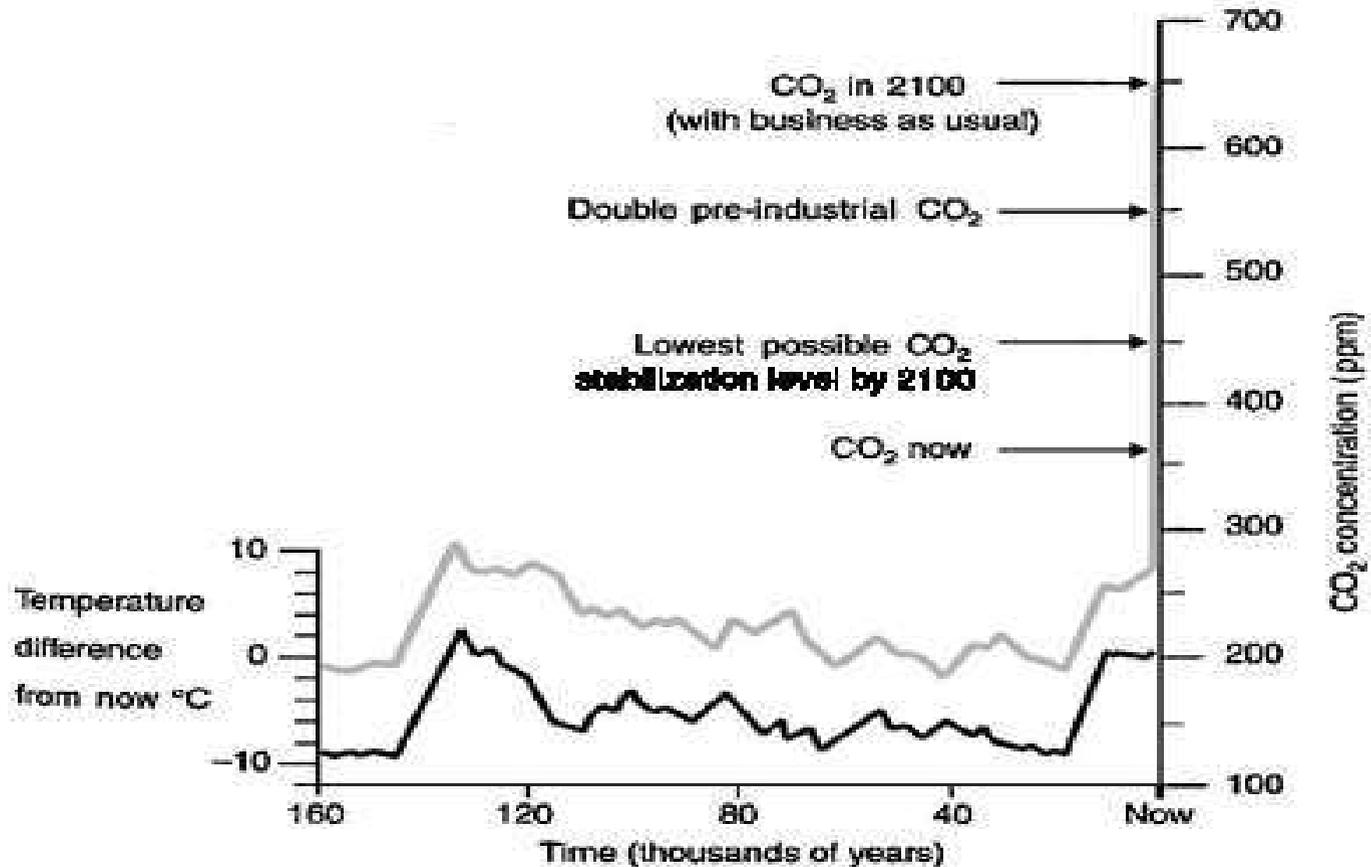
# La “carota di Vostok”: ultimi 1000 anni.

Andamento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> e della temperatura media globale negli ultimi 1000 anni



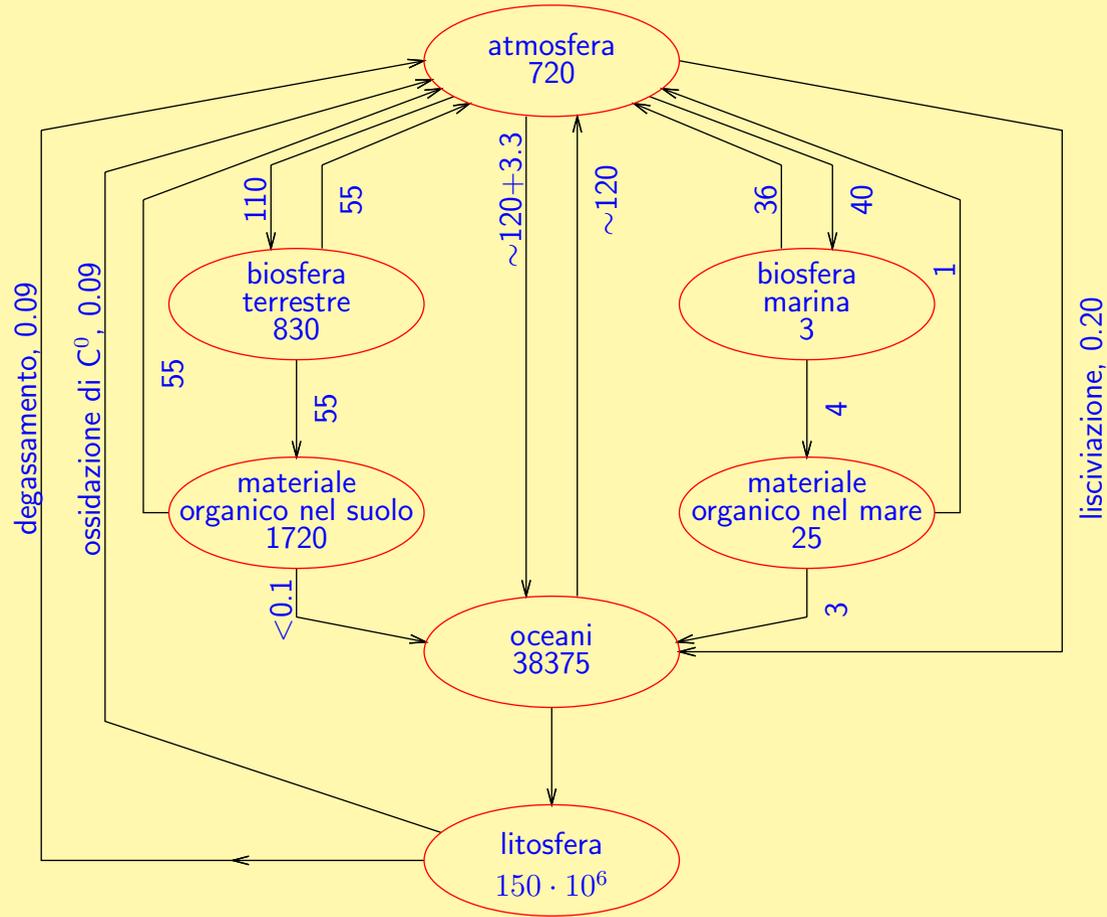
## La “carota di Vostok”: ultimi 160000 anni.

Andamento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> e della temperatura negli ultimi 160000 anni.



# Ciclo geochimico del carbonio

Unità di misura:  $10^{12}$  kg per i serbatoi,  $10^{12}$  kg/yr per i flussi (anno 1980).



# Ciclo geochimico del carbonio

I processi più importanti sono:

- La fotosintesi e la respirazione ( $150 \cdot 10^{12}$  kg/yr di C):

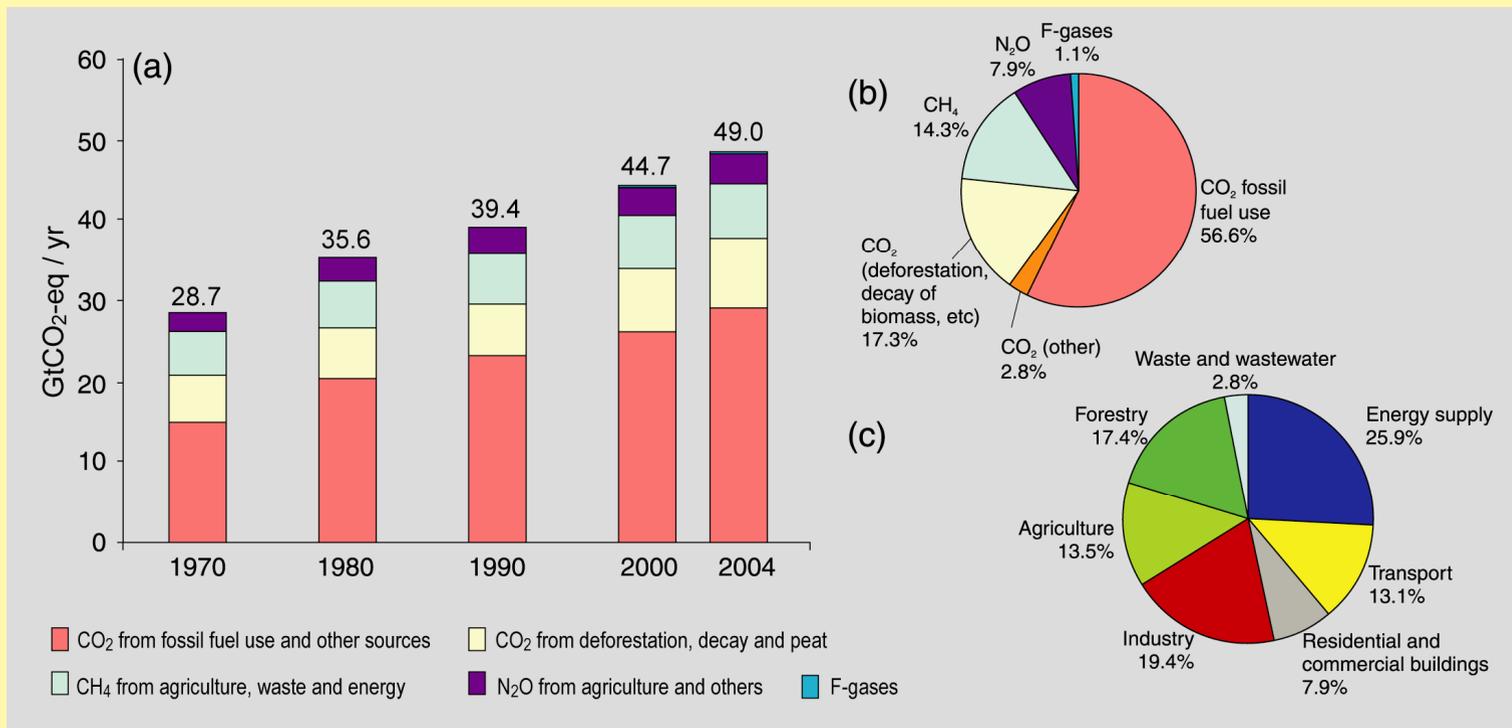


- Lo scambio di  $\text{CO}_2$  tra acqua e aria ( $120 \cdot 10^{12}$  kg/yr di C):



- La perdita di carbonati verso le profondità oceaniche ( $3 \cdot 10^{12}$  kg/yr di C).
- L'immissione di  $\text{CO}_2$  nell'atmosfera da parte di attività umane ( $7 \cdot 10^{12}$  kg/yr di C).

# Emissioni di gas-serra dovute ad attività umane



# Confronto tra diversi combustibili per la generazione di elettricità

$P_C$  è il potere calorifico

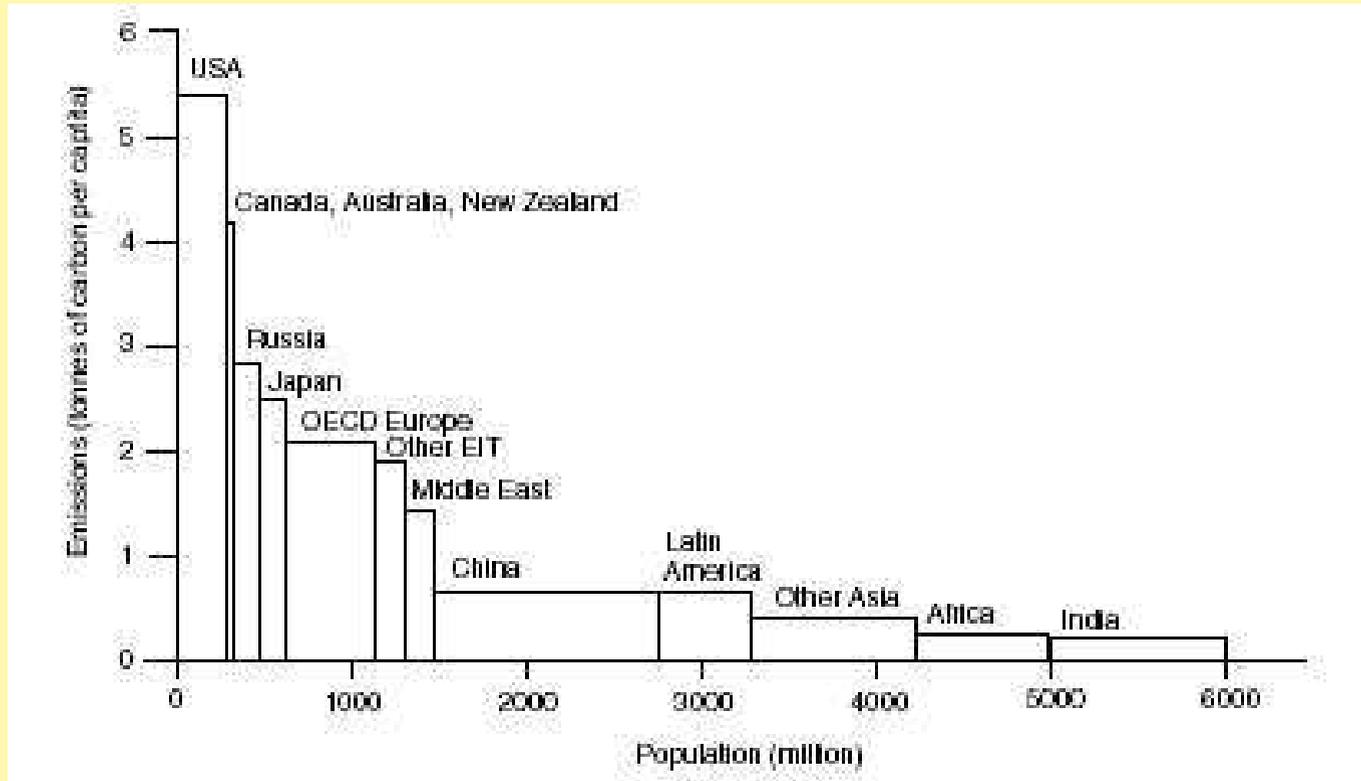
L'efficienza di conversione è la frazione di calore che viene convertita in energia elettrica.

combustibile	contenuto di C	$P_C$ MJ/kg	kg di C emessi per GJ di calore prodotto	efficienza di conversione del calore	kg di C emessi per GJ di energia prodotta
antracite	78%	28	28	40%	67
lignite	34%	12	28	40%	67
petrolio greggio	86%	42	20	45%	46
gas naturale	71%	49	14	50%	28

# Distribuzione geografica delle emissioni

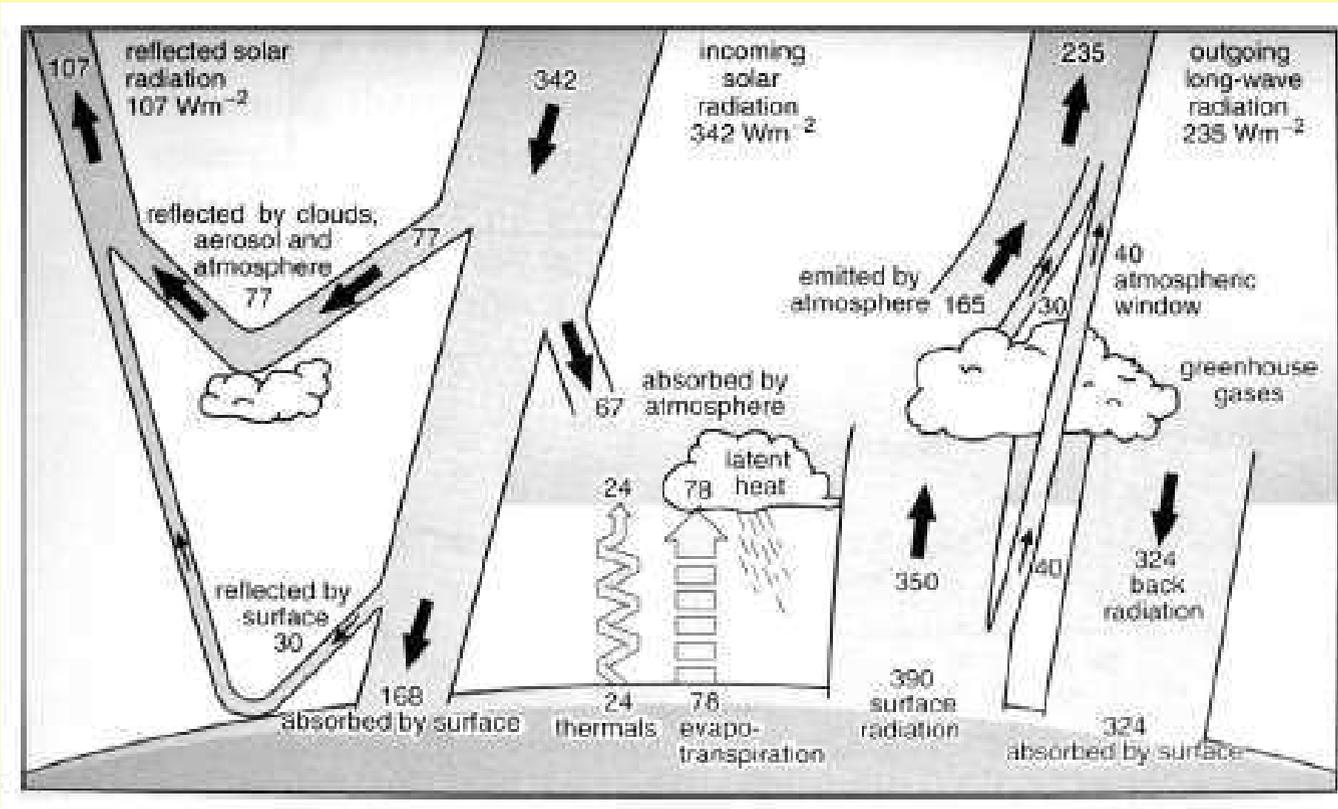
Emissioni di CO<sub>2</sub> per aree geografiche, nell'anno 2000.

La superficie di ogni rettangolo è proporzionale alle emissioni totali di una certa area geografica, la base alla popolazione e l'altezza all'emissione pro-capite.

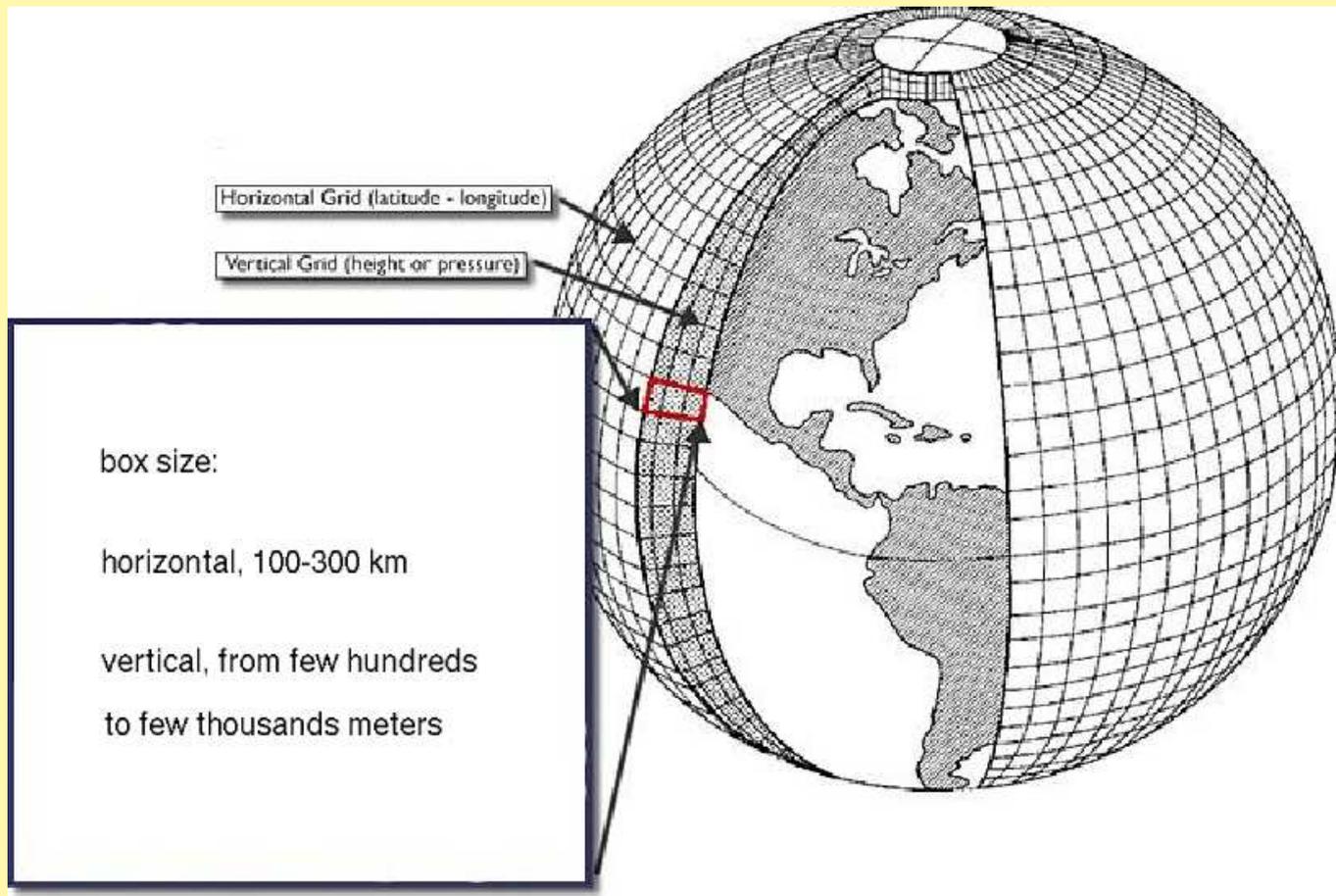


# Qualche complicazione...

Trasferimenti di energia in senso verticale nell'atmosfera.



# I modelli climatici: General Circulation Models (GCM)



# Previsioni e incertezze

Previsioni contenute nel rapporto 2007 dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), riferite al 2100:

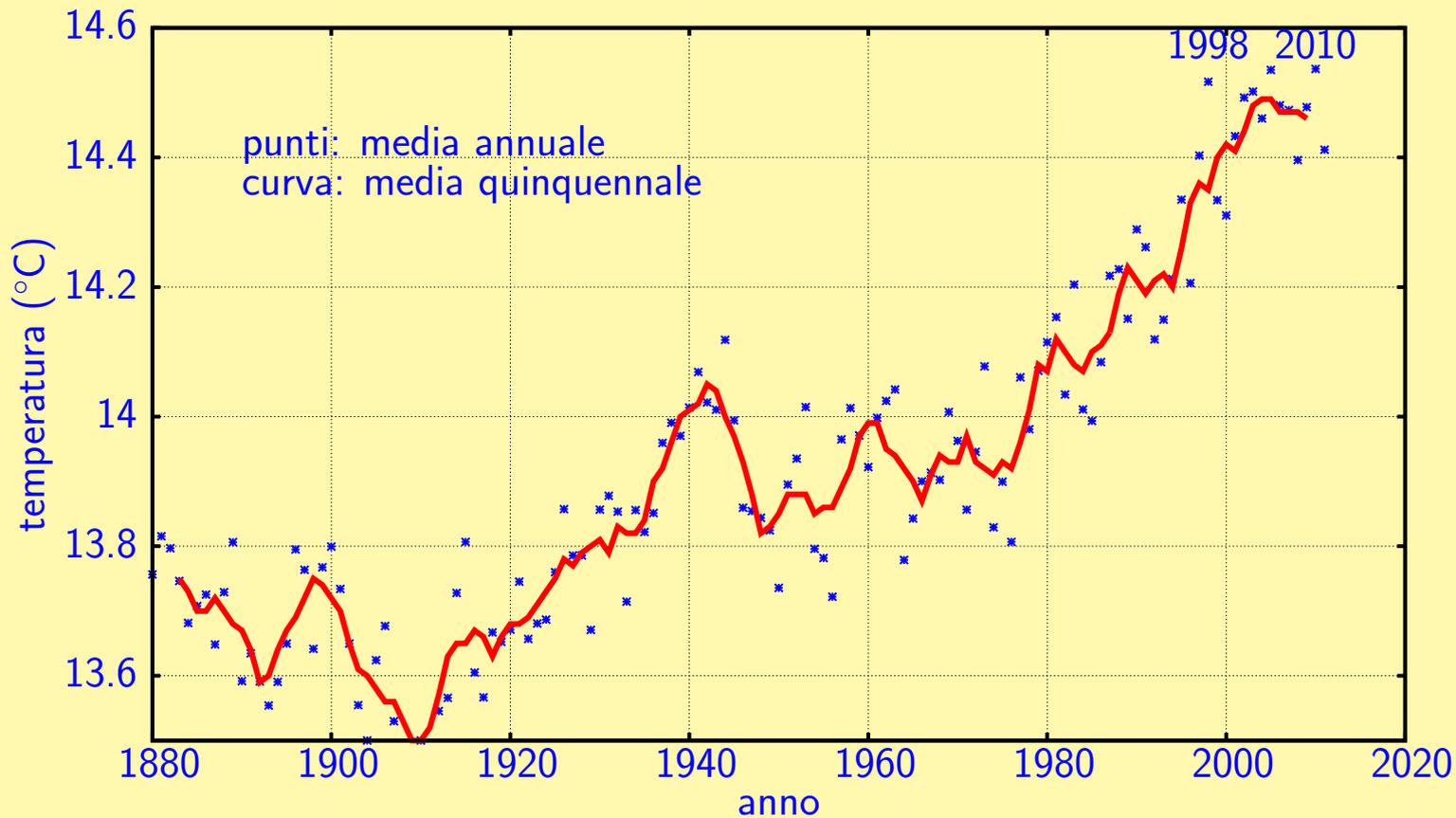
- Aumento di temperatura da 1 a 6°, più alto ai poli, meno all'equatore.
- Aumento delle precipitazioni nelle regioni fredde, leggera diminuzione in quelle intertropicali, intorno al Mediterraneo, nel Medio Oriente ed in altre aree continentali.
- Aumento del livello del mare da 20 a 60 cm.

Le maggiori incertezze sono dovute a:

- Scenari economici e tecnologici riguardo alle emissioni di gas-serra.
- Fenomeni climatici difficilmente modellizzabili (nuvolosità e precipitazioni, influenza degli oceani sull'atmosfera e viceversa).
- Risposta degli ecosistemi, dei ghiacciai etc.

# Ma è vero che il clima sta cambiando?

Temperature medie globali 1880-2011. Si prende come riferimento la media 1901-2000, valutata in  $13.9^{\circ}\text{C}$ / Fonte: National Ocean and Atmosphere Administration (NOAA), USA.



## Qualche conseguenza

Possibili conseguenze del cambiamento climatico globale.	Ricadute su ecosistemi ed attività umane.
Spostamento delle fasce di latitudine ottimale per le coltivazioni.	Problemi nelle produzioni agricole; alcuni paesi favoriti, altri danneggiati.
Spostamento delle fasce di latitudine ottimale per gli ecosistemi.	Perdita di biodiversità; declino di alcuni ecosistemi.
Arretramento dei ghiacciai.	Problemi di approvvigionamento idrico.
Scongelo del permafrost.	Alterazione dell'ambiente artico.
Incremento nel livello dei mari.	Inondazione di zone costiere; Salinizzazione delle falde.
Maggiore frequenza di fenomeni estremi.	Ondate di caldo, uragani distruttivi.
Diffusione di insetti e microrganismi dannosi.	Danni all'agricoltura, malattie infettive.

# Consumi energetici e Prodotto nazionale Lordo.

Dati del 2010 da G. Tveberg, <http://ourfiniteworld.com/2011/11/15/is-it-really-possible-to-decouple-gdp-growth-from-energy-growth/>

---

Paese	Prodotto naz. lordo 10 <sup>9</sup> US \$ 2005	Consumo di energia 10 <sup>9</sup> Kg petrolio equiv.	rapporto US \$/Kg petrolio
USA	13000	2300	5.7
Germania	2900	320	9.1
Italia	1700	145	11.7
Giappone	4400	500	8.8
Spagna	1200	150	8.0
Cina	3800	2500	1.5
ex-URSS	1200	1000	1.0
Mondo	50000	12000	4.2

---

# Consumi energetici e crescita economica.

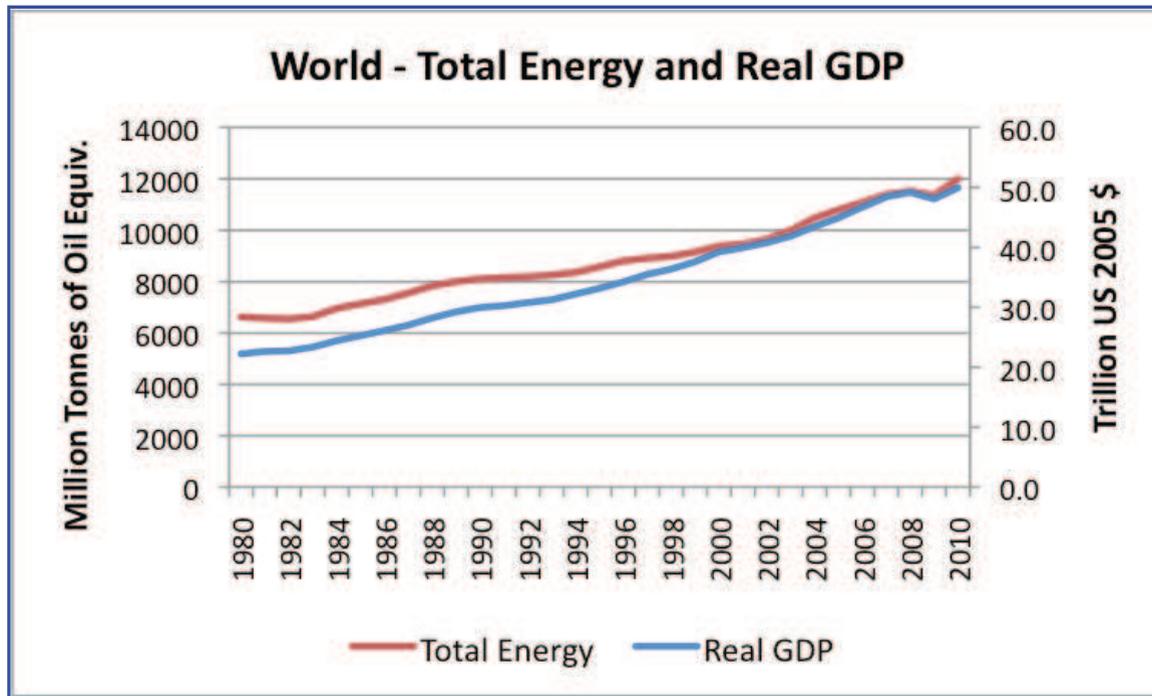


Figure 1. Growth in world energy consumption (based on BP data) and growth in world real GDP

## Consumi energetici e crescita economica.

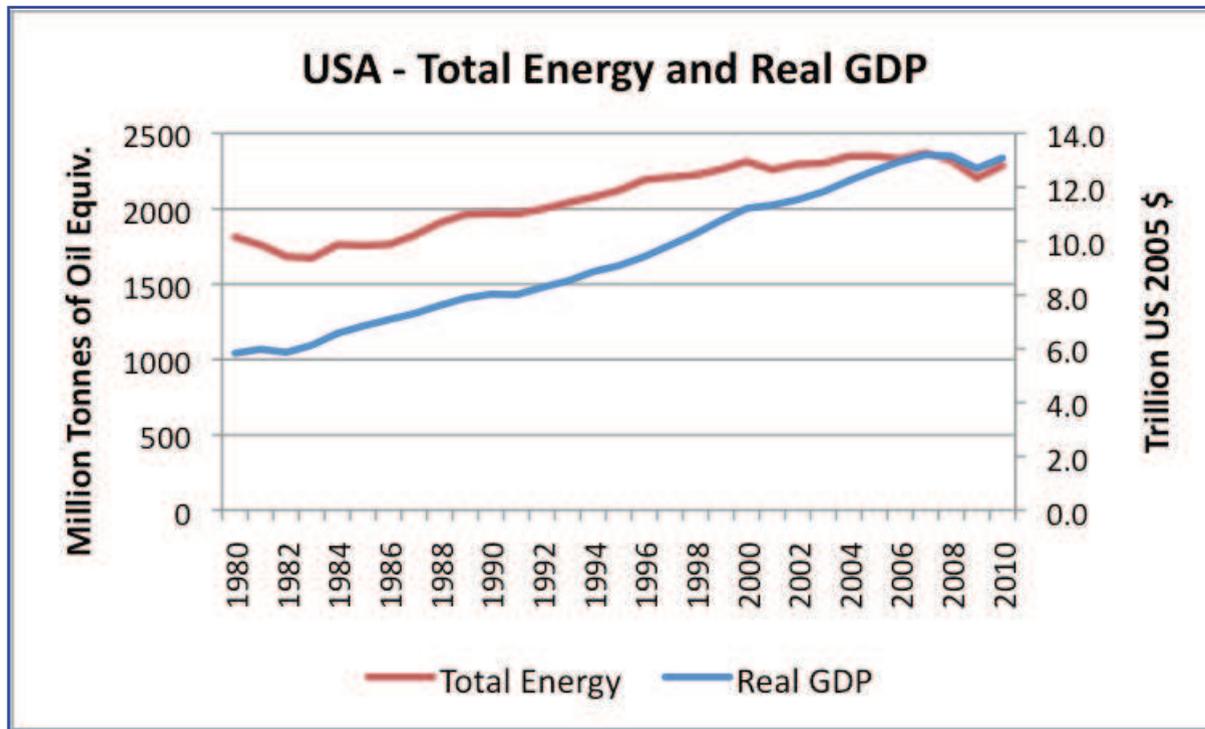


Figure 2. USA's real GDP and total energy consumption

## Consumi energetici e crescita economica.

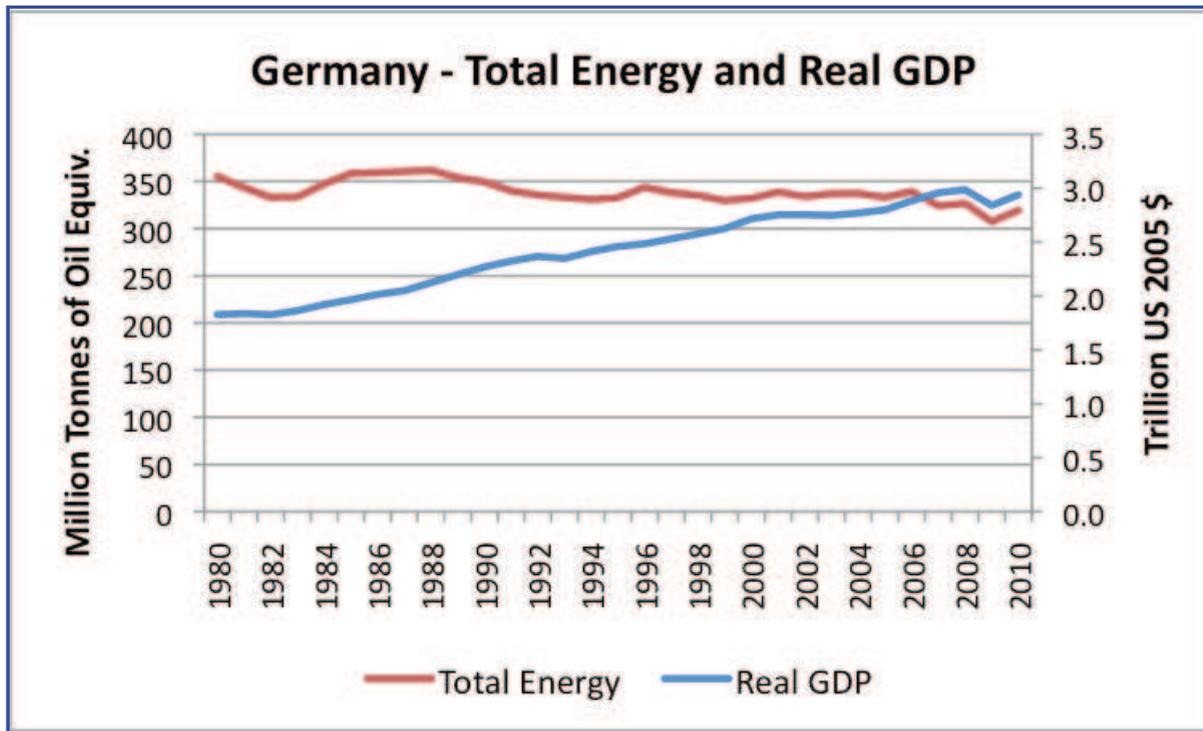
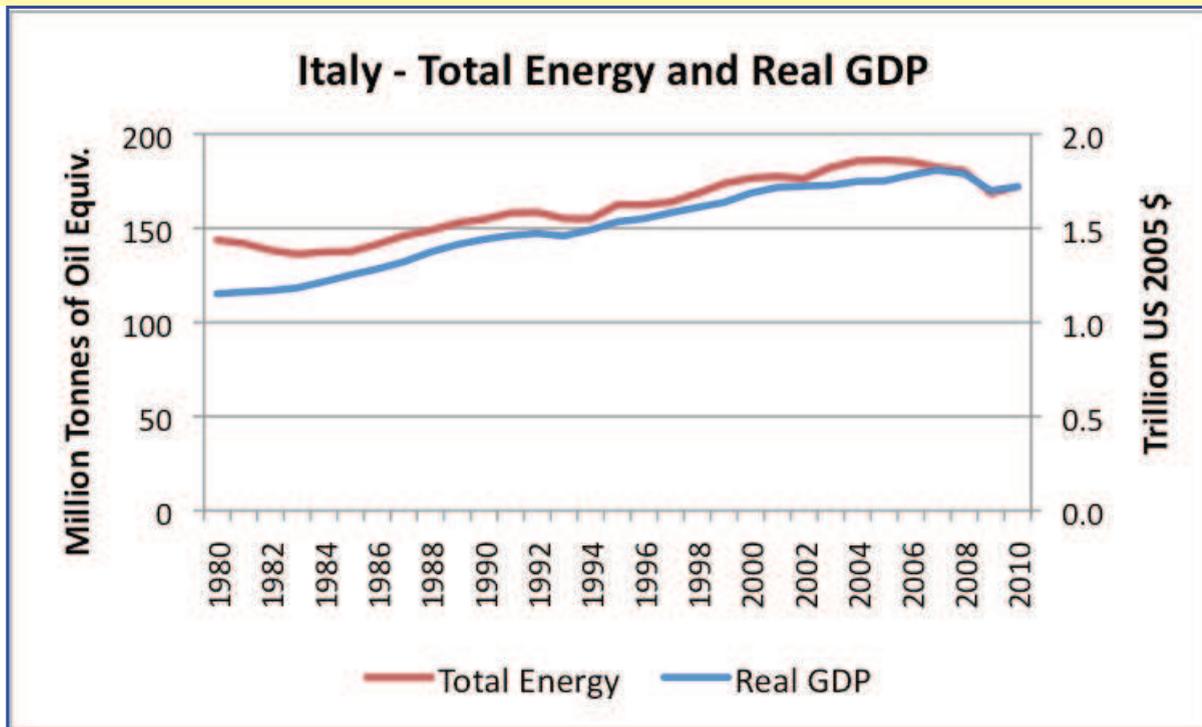


Figure 3 - Germany's total energy consumption and real GDP.

## Consumi energetici e crescita economica.



*Figure 4. Italy's energy consumption and real GDP*