



SPAIS 2007

Santo Stefano Quisquina 16-20 luglio 2007

U. Mastromatteo

STMicroelectronics – Probe Storage, Lab on Chip, Energy - Fellow

STMicroelectronics

argomenti

- ▣ Generalita' sull'energia;
- ▣ Fonti di energia primaria e ripartizione;
- ▣ Combustibili fossili;
- ▣ Energia solare, Biomassa e fotosintesi;
- ▣ Fonti a confronto;
- ▣ Clima.

Forme di energia

- ☐ Meccanica (cinetica e potenziale) campi di forze e masse in moto;
- ☐ Termica;
- ☐ Chimica;
- ☐ Elettrica;
- ☐ Nucleare;
- ☐ Energia Libera – trasformazioni termodinamiche;
- ☐ Radiativa – onde elettromagnetiche (propagazione nel vuoto)

Energia: capacità di un sistema di compiere lavoro.

Non si consuma energia per produrre lavoro:
Si trasforma energia da una forma ad un'altra e/o
si trasferisce energia da un sistema ad un altro.

$L_{ab} = \text{Integrale da "a" a "b" di } (\underline{F} \times d\underline{l})$

dimensioni: $[L] = [E] = [F] [l] = [\text{massa}] [\text{lunghezza}]^2 [\text{tempo}]^{-2}$

unità: $1\text{J} = 1\text{N } 1\text{m (MKSA)}$; $1\text{erg} = 10^{-7}\text{J}$;

$1\text{kcal} = 4.18 \cdot 10^3\text{J}$; $1\text{kWh} = 3.6 \cdot 10^6\text{J}$;

$1\text{tep} = 4.3 \times 10^{10}\text{J} = 11.6 \text{MWh}$

Lavoro necessario per sollevare 10 Kg di 1 m: $m g h = 98.2 \text{J}$

Scaldabagno da 80 l da 20°C a 80°C: $mC\Delta T = 4.8 \cdot 10^3 \text{kcal} = 5.6 \text{kWh}$

Contenuto energetico di un litro di benzina: $3.4 \cdot 10^7\text{J} @ 10 \text{kWh}$

Potenza

Potenza: lavoro per unità di tempo

$$W = L/t$$

dimensioni: $[W] = [F] [l] [t]^{-1} = [m] [l]^2 [t]^{-3}$

unità: $1W = 1J/1s$ (MKSA); $1 \text{ erg}/s = 10^{-7}W$

Potenza installata in un appartamento: 3 kW

(Scaldabagno 1kW) 1 litro di benzina a 100 km/h

(consumo 10 km/l): $t = .1h$; $W = 100 \text{ kW}$

(contenuto energetico della benzina circa 36 MJ)

L'Energia si conserva

Meccanica: $L = \Delta K$ sempre (K = energia cinetica + potenziale)

$E = U + K = \text{costante}$ per forze conservative (U = energia interna)

N.B. In presenza di forze dissipative l'energia meccanica non si conserva solo perché o è trasferita ad un altro sistema o si trasforma in altra forma di energia (p.e. attrito-calore)

Termodinamica: $Q - L = \Delta U_{\text{int}}$ (per un ciclo: $Q - L = 0$)

N.B. Sarebbe possibile qualunque trasformazione, ma (II principio)

Elettromagnetica: $L = \int V(t) i(t) dt$

p.e. effetto Joule in una resistenza

Chimica, nucleare: $\Delta B = Q$

reazione esotermica o endotermica: viene liberata ($Q > 0$) o assorbita ($Q < 0$)

una quantità di energia pari alla variazione dell'energia di legame tra i costituenti di un sistema

UNITÀ DI MISURA - SISTEMA INTERNAZIONALE (SI)

SISTEMI TECNICI, Energia

•kcal e multipli

$$1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ} = 3,968 \text{ BTU}$$

•kWh e multipli

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} = 860 \text{ kcal}$$

•tep (tonn. equiv. petrolio) e multipli

$$1 \text{ tep} = 10^7 \text{ kcal} = 39,68 \text{ MBTU}$$

$$1 \text{ tep} = 11,63 \text{ MWh(t)} = 4,65 \text{ Mwh(e)}$$

•BTU (British Thermal Unit) e multipli

$$1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ kJ} = 0,252 \text{ kcal}$$

•barili al giorno (bl/d) e multipli

$$1 \text{ Mbl/d} \approx 50 \text{ Mtep per anno}$$

Coefficienti di conversione

PETROLIO

1 barile = 159,0 litri \approx 1/7,3 tep

1 Mbl/d \approx 50 Mtep/anno

peso specifico petrolio 0.86 Kg/litro circa

GAS NATURALE

1 mc \approx 9,10 Mcal (Potere Calorifico Superiore)

1 mc \approx 10,6 kWh

1 MBTU \approx 27,7 mc

CARBONE

1 t = 1 tec \approx 0,67 tep

ENERGIA ELETTRICA

all'uso finale: 1 kWh = 860 kcal

alla produzione: 1 kWh = 2.200-2.300 kcal

Trasformazioni energetiche a confronto

Energia chimica:

1 t (da 0.4 a 1 tep) fornisce da 1.5 a 4 MWh (e)

Energia nucleare:

1 t (circa 10 Mtep) fornisce circa 4 TWh (e)

Energia meccanica:

1 t x 1 Km equivale a 2.8 KWh (e)

argomenti

- ▣ Generalita' sull'energia;
- ▣ Fonti di energia primaria e ripartizione;
- ▣ Combustibili fossili;
- ▣ Energia solare, Biomassa e fotosintesi;
- ▣ Fonti a confronto;
- ▣ Clima.

Energia consumata nel mondo

$$10^{10} \text{ tep} = 4.21 \cdot 10^{20} \text{ J} = 10^{20} \text{ cal} = 1.17 \cdot 10^{14} \text{ kWh} = 4.66 \text{ T} \cdot \text{c}^2$$

$$\text{Potenza: (1 a} = 3.15 \cdot 10^7 \text{ s); } 10^{10} \text{ tep} / 3.15 \cdot 10^7 \text{ s} = 317 \text{ tep/s} = 13.3 \cdot 10^{12} \text{ W} = 148 \text{ mg} \cdot \text{c}^2/\text{s}$$

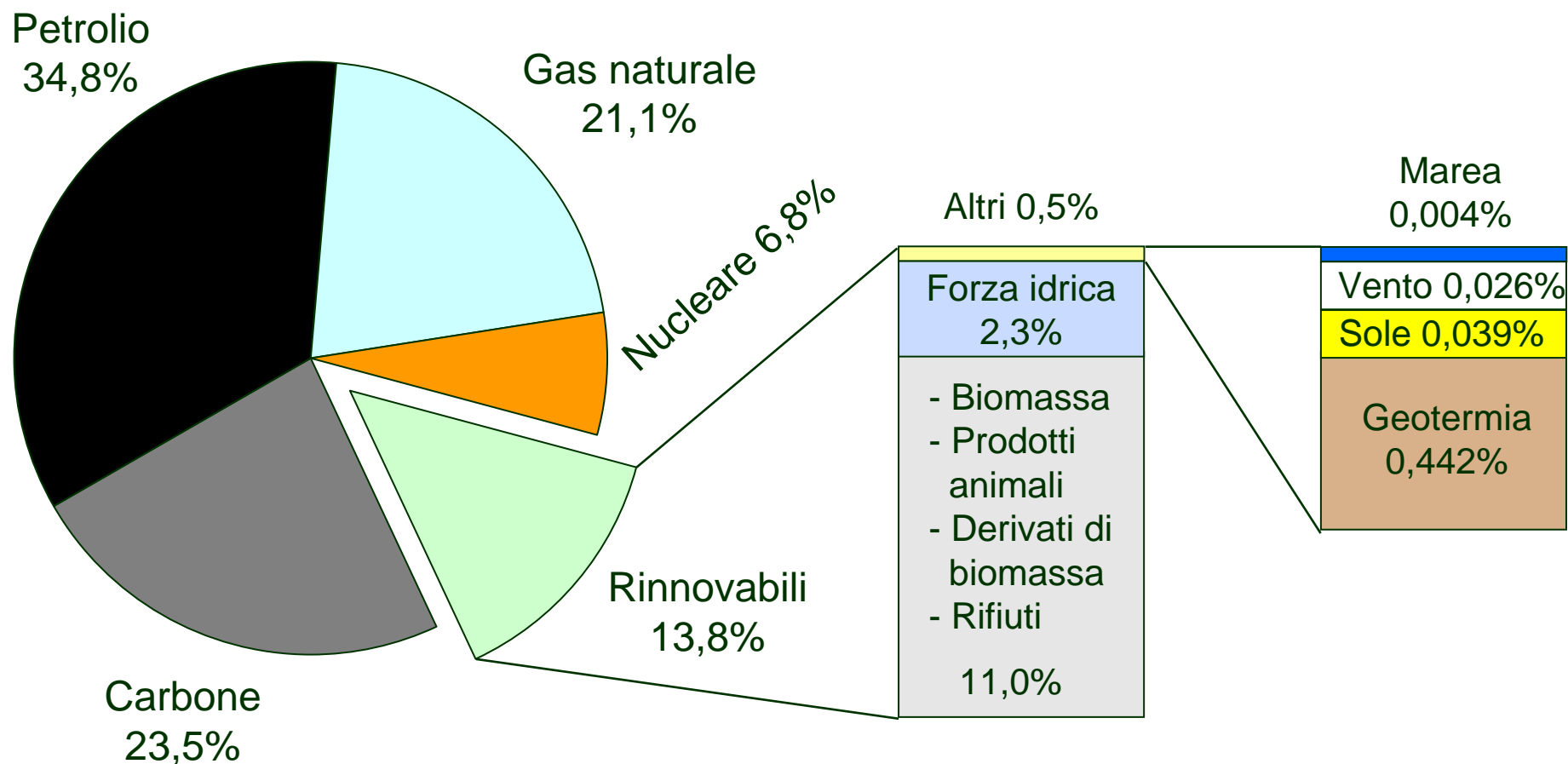
Popolazione mondiale: $6 \cdot 10^9$ persone

Potenza individuale: $2200 \text{ W/persona} = 0.78 \text{ mgc}^2/\text{a/persona}$

Una centrale nucleare tipica produce 1 GWe

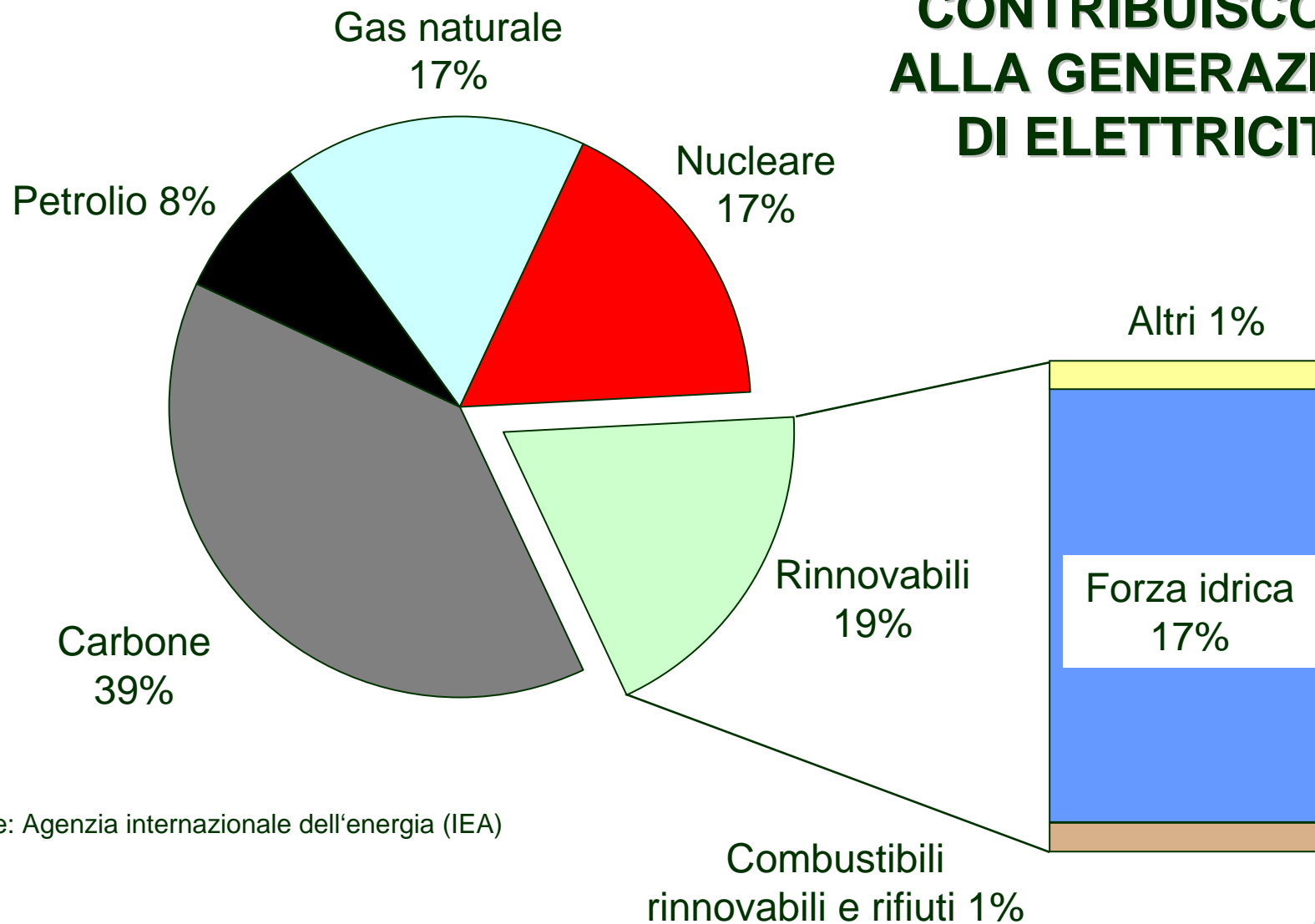
Lavoro compiuto in media da un uomo in un giorno: $1.7 \text{ MJ} \cong 400 \text{ kcal}$. Potenza media "erogata": $20 \text{ W} = 0.9\%$ energia "consumata"

LE QUOTE DI ENERGIA PRIMARIA NEL 2000



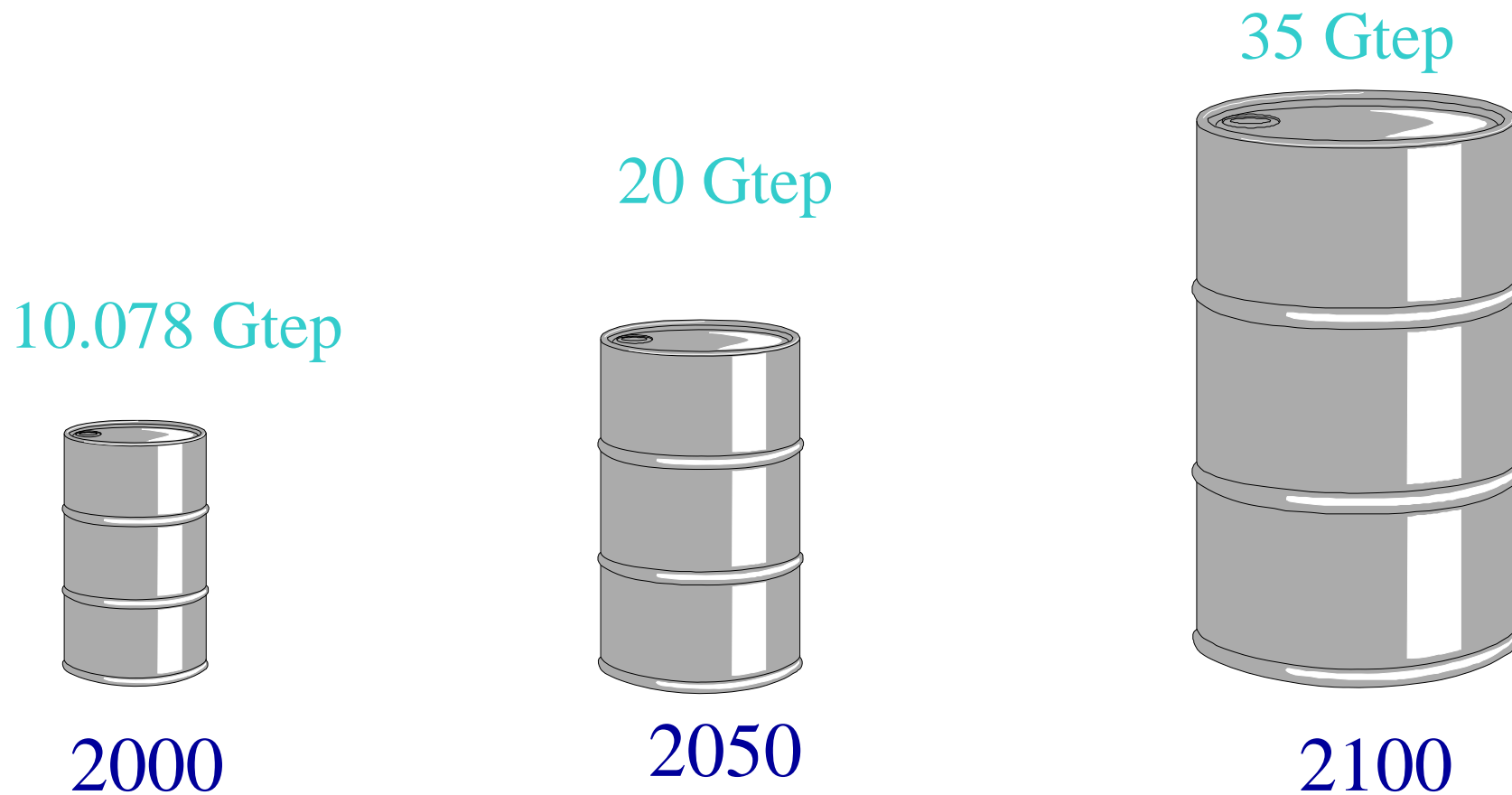
Fonte: Agenzia internazionale dell'energia (IEA)

LE FONTI CHE CONTRIBUISCONO ALLA GENERAZIONE DI ELETTRICITÀ



Fonte: Agenzia internazionale dell'energia (IEA)

IL FABBISOGNO MONDIALE DI ENERGIA PRIMARIA

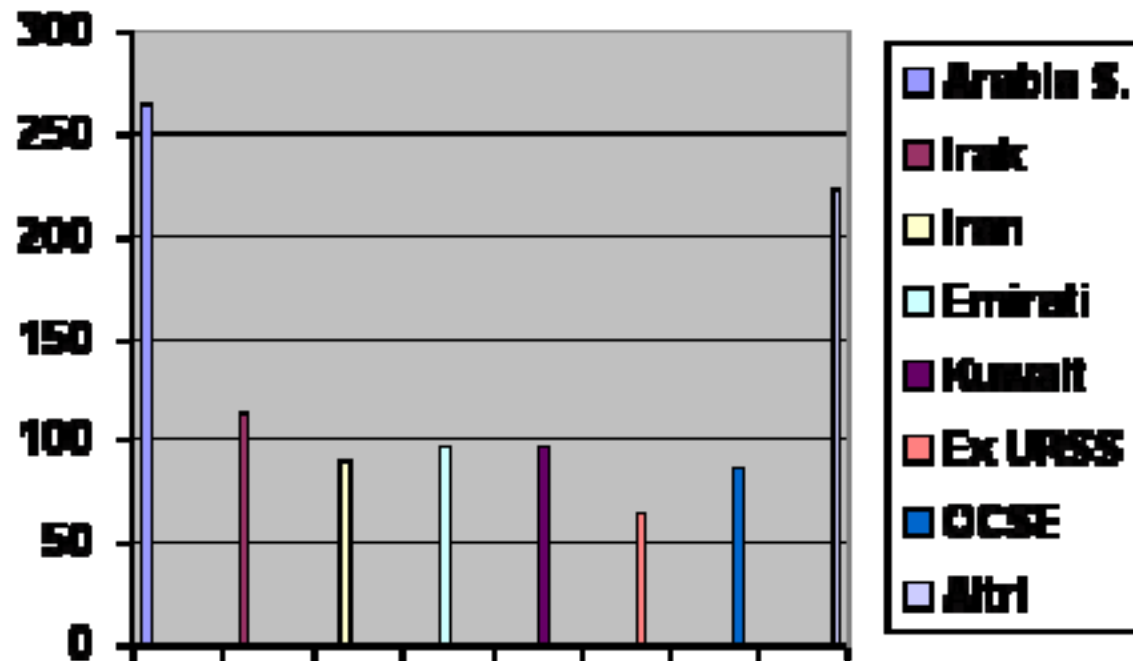


argomenti

- ▣ Generalita' sull'energia;
- ▣ Fonti di energia primaria e ripartizione;
- ▣ Combustibili fossili;
- ▣ Energia solare, Biomassa e fotosintesi;
- ▣ Fonti a confronto;
- ▣ Clima.

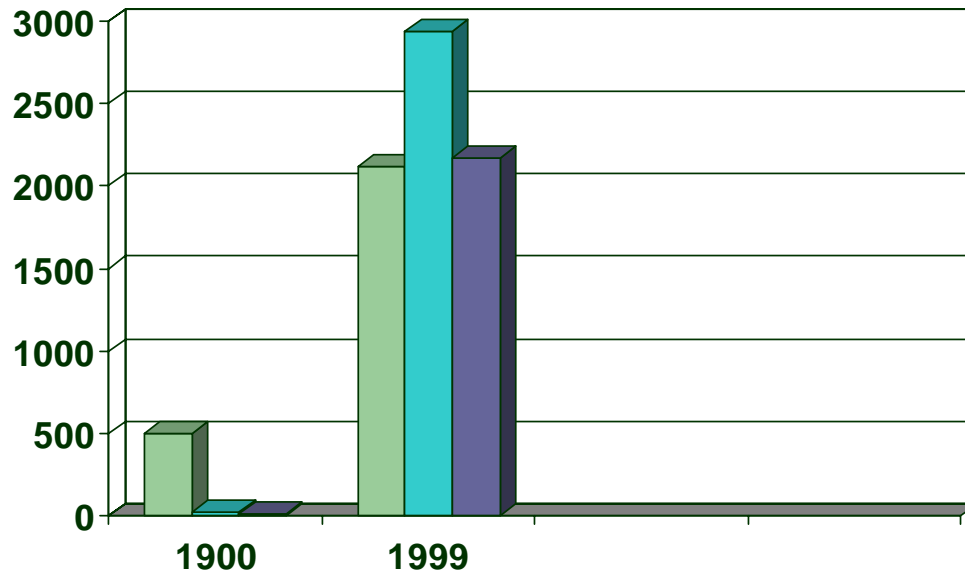
Riserve petrolifere (al 1999)

Miliardi di barili.



100 anni di carbone e petrolio

Finora consumati circa 1000 Miliardi di barili di riserve accertate

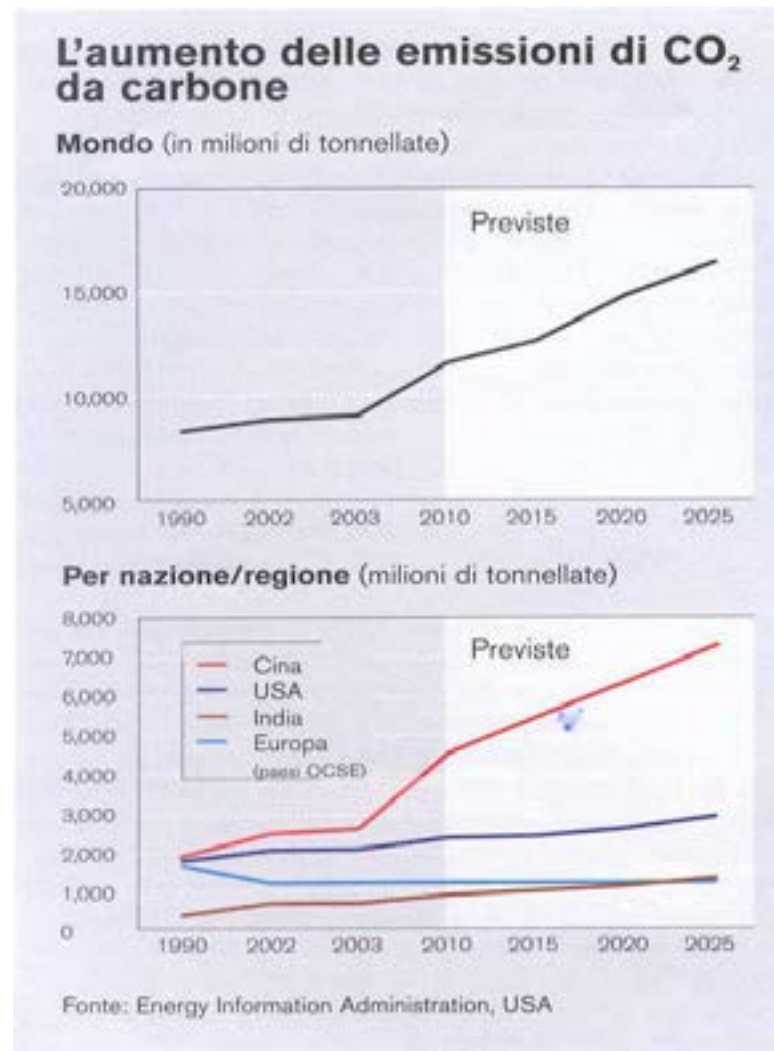


■ Carbone
■ Petrolio
■ Gas Naturali

Fonte en.	1900	1999
Carbone	501	2122
Petrolio	18	2940
Gas naturali	9	2173

**Crescita nei consumi di combustibili fossili tra il 1900 ed il 1999
(in Mtep=milioni di tonnellate equivalenti di petrolio).
(1 barile USA=159 litri=0.18 Tep)**

Conseguenze uso dei combustibili fossili



Numeri da ricordare

1 barile USA=159 litri=0.18 T_{ep} (cp=0.9 g/cc)

Consumo giornaliero=70Mbarili

i.e.

25 Gb=4500 M_{Tep} (consumo annuo)

Riserve provate= 1000 Gb

Riserve non provate 500 Gb

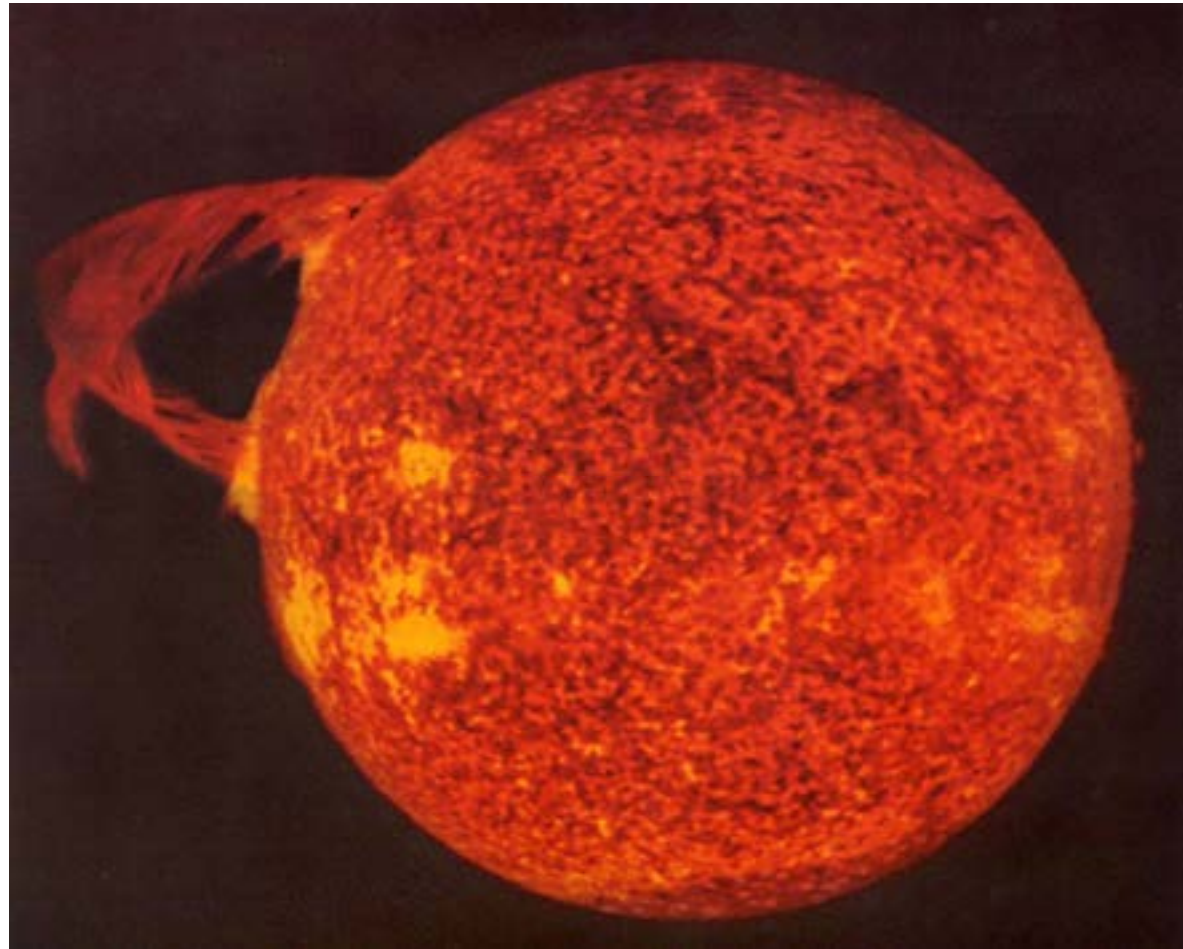
Totale greggio sul pianeta, incluso quello già estratto e riserve non provate 2500 Gb

1Btu=1055 Joule

argomenti

- ▣ Generalita' sull'energia;
- ▣ Fonti di energia primaria e ripartizione;
- ▣ Combustibili fossili;
- ▣ Energia solare, Biomassa e fotosintesi;
- ▣ Fonti a confronto;
- ▣ Clima.

Energia solare



Energia e mondo biologico

- Il regno animale non potrebbe esistere se gli animali si nutrissero gli uni degli altri in quanto necessitano di energia per compiere lavoro meccanico, questo apporto di energia deve provenire da un sistema esterno al loro “regno”: il regno vegetale.



Osservazioni

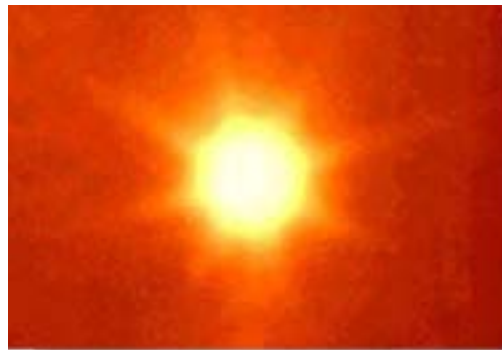
- Se tutti gli animali fossero carnivori, l'intero regno animale scomparirebbe nel giro di pochissime generazioni e in effetti non sarebbe mai nato.
- La sintesi degli aminoacidi e degli acidi nucleici avviene solo nelle piante.
- Solo una minoranza di animali (e probabilmente anche di uomini !) può permettersi il lusso di essere carnivora.

E le piante ?

- Anche le piante non sarebbero in una situazione migliore se non si rifornissero da una fonte di energia esterna.
- E' l'energia solare che sostiene quindi tutte le forme viventi (ad eccezione di alcuni batteri).

La produzione di biomassa

Le trasformazioni, orientate alla produzione di materia organica, subite dall'acqua e dall'anidride carbonica sono processi che non avvengono spontaneamente, ma hanno bisogno di un notevole apporto di energia dall'esterno per poter essere svolti (si parla, in questo caso, di reazioni "endoergoniche"). La luce del Sole, catturata dal pigmento fotosintetico "clorofilla", fornisce appunto l'energia necessaria ad alimentare l'intera serie di reazioni.



Esperimento di Boussingault

□ 1850, Jean Baptiste Boussingault

Coltivò piante su un suolo totalmente privo di materia organica, dimostrando, in tal modo, che le piante possono ricavare il carbonio solo dalla CO₂ presente nell'atmosfera. Al contrario, le piante non potrebbero crescere su un suolo privo di composti azotati; quindi esse ricavano l'azoto dal terreno e quello atmosferico non viene utilizzato (ecc. Leguminose).

Esperimento di Bossingault

- ▣ Fin dai tempi di Boussingault fu chiaro che le piante ricavano direttamente dal terreno solo poche sostanze nutritive, sali inorganici come nitrati e i fosfati. Sono questi composti che i fertilizzanti aggiungono al terreno.

La fotosintesi

La reazione complessiva della fotosintesi può essere così riassunta:



Ordine di grandezza del processo

- Eugene I. Rabinowitch, biochimico russo:

ogni anno le piante terrestri combinano un totale di 150 mld di tonnellate di carbonio (dalla CO₂) con 25 mld di t di idrogeno (dall'acqua) e liberano 400 mld di t di ossigeno;

in questa gigantesca impresa gli organismi vegetali che formano i prati e le foreste sulle terre emerse, sono responsabili solo di un 10%; per il restante 90% dobbiamo ringraziare gli organismi vegetali acquatici (alghe).

argomenti

- ▣ Generalita' sull'energia;
- ▣ Fonti di energia primaria e ripartizione;
- ▣ Combustibili fossili;
- ▣ Energia solare, Biomassa e fotosintesi;
- ▣ Fonti a confronto;
- ▣ Clima.

CONSUMO ENERGETICO IN USA (%)

▣ Combustibili Fossili	86
▣ Nucleare	8
▣ Rinnovabili	6
– Idrico	45
– Legna	32.5
– Rifiuti	9
– Geotermia	6
– Bio-carburanti	4.5
– Vento	2
– Solare Diretto	1

PRODUZIONE D'ENERGIA ELETTRICA

Tipo	Mondo	UE
Fossili	65 %	50 %
Nucleare	16 %	30 %
Idroelettrico	17 %	17 %
Altre rinnovabili	2 %	3 %

CONTRIBUTO SOLARE PASSATO E PRESENTE

- ▣ Dalla preistoria sino a 200 anni fa: 100%
- ▣ Oggi: < 8%

QUELLA SOLARE SEMBRA ESSERE LA FONTE DEL PASSATO

CONSUMO ELETTRICO ITALIANO

▣ Combustibili Fossili	70.0 %
▣ Nucleare (IMPORTATO!)	14.5 %
▣ Geotermia+RSU	2.2 %
▣ Idroelettrico	12.3 %
▣ Altre rinnovabili	1.0 %

L'ENERGIA DAL SOLE

□ In Italia, il valor medio sulle 24 ore e sulle 4 stagioni la potenza specifica dal sole è:

200 W/m²

□ Tuttavia: l'energia solare non è né energia elettrica né energia meccanica!

POTENZA SPECIFICA (P) E INCIDENZA D'USO (C) DELLE TECNOLOGIE SOLARI

	P [W/m ²]	C[%] (USA)
☐ Solare termico	100	< 0.1%
☐ Solare fotovoltaico	20	< 0.1%
☐ Solare termoelettrico	10	< 1 %
☐ Eoliche	1.3	2 %
☐ Idroelettrico	0.7	53 %
☐ Biomassa	0.5	38 %
☐ Bio-carburanti	< 10.051	6 %

COLLETTORI SOLARI (100 W/mq)

- Forniscono solo acqua e aria calda
- A questo scopo il mondo consuma solo il 10% del consumo totale d'energia
- In realtà i C.S. oggi forniscono meno dello 0.005% del limite teorico, di cui il 90% è adibito al riscaldamento di piscine

ALCUNI DATI

- Consumo elettrico italiano annuo: 350×10^9 kWh pari ad una potenza assorbita di

$$40 \times 10^9 \text{ W} = 40 \times 10^6 \text{ kW} = \\ = 40.000 \text{ MW} = 40 \text{ GW}$$

- Importazione netta 2003 di e. e. (in 10^9 kWh):

I	51	(15%)
UK	2	
E	1	
D	- 9	
F	- 66	

SCENARIO

Potenza elettrica erogata da 4 reattori nucleari da 1.2 GWe:

$$4 \times 1.2 \times 0.83 = 4 \text{ GW}$$

che è il 10% del consumo italiano

▣ Costo: $< 10^{10}$ €

▣ Superficie: < 1 kmq

FOTOVOLTAICO

(6000 €/kWp = 54.000 €/kW)

□ 54.000 €/kW x 4x10⁶ kW =

$$= 216 \times 10^9 \text{ €}$$

per impianti *on-grid* per soddisfare il 10% del fabbisogno elettrico italiano

□ Si abatteranno i prezzi?

SOLARE TERMOELETTRICO

(10 W/mq)

$$\frac{4 \times 10^9}{10} \frac{\text{W}}{\text{W/mq}} = 400 \times 10^6 \text{ mq}$$
$$= 400 \text{ kmq}$$

- In California: il *Solar-2* e il *Luz*, occupano, 50 ha e 1000 ha, rispettivamente. La loro produzione energetica (espressa in potenza specifica) è di 3 (*Solar-2*) e 10 (*Luz*) W/m²
- Il “2” in *Solar-2* è dovuto al fatto che vi fu un *Solar-1*, distrutto dall’incendio di un milione di litri di therminol (31.8.86). Tre milioni di litri di therminol del *Luz* andarono a fuoco (27.2.99).

ENERGIA EOLICA

(1.3 W/mq)

$$\frac{4 \times 10^9 \text{ W}}{1.3 \text{ W/mq}} = 3000 \text{ kmq} \dots$$

... e: $7 \times 4000 = 28.000$ turbine

COSTO: € 28×10^9 (---> € 56×10^9)

- ▣ La Danimarca (< 6 milioni d'abitanti) produce il 12% della propria elettricità dalle turbine eoliche
- ▣ La Germania ha installato più di 16.000 MW eolici, che producono meno del 5% dell'energia elettrica totale consumata dai tedeschi
- ▣ Il settimanale tedesco DER SPIEGEL ha definito l'eolico «la distruzione del paesaggio altamente sovvenzionata»

BIOMASSA

(0.5 W/mq)

$$\frac{4 \times 10^9 \text{ W}}{0.5/3 \text{ W/mq}} = 24.000 \text{ kmq}$$

- Con opportune scelte di biomassa **coltivata**, si potrebbe anche raddoppiare a 1 W/mq la potenza specifica, ma bisognerebbe anche sottrarre dall'energia ricavata quella spesa per il processo agricolo (semina, raccolto, produzione di fertilizzanti...)



Contenuto energetico dei carburanti per autotrazione

	MJ / kg	MJ / m ³
Benzina	43,96	
Gasolio	42,50	
GPL		45,55
Gas naturale		34,12
Biodiesel	37,70	
Metanolo	19,80	
Etanolo	27,00	
MTBE	35,28	
ETBE	36,00	

Potenza media da biomassa

- Supponiamo di avere un ettaro di mais. In un anno abbiamo 3 tonnellate di etanolo, quindi 3000 Kg per 27 MJ = 81 GJ di energia. Dividendo per i secondi che ci sono in un anno abbiamo 2.5 Kw di potenza media, senza considerare l'energia spesa per la semina, la raccolta e la trasformazione in etanolo.

Area da destinare a coltivazioni per bioetanolo

$$\dots \frac{4 \times 10^9 \text{ kg}}{400 \text{ kg/ha}} = 10^7 \text{ ha}$$
$$= 100.000 \text{ kmq}$$

per sostituire con bioetanolo il 10% del carburante per autotrazione consumato in Italia

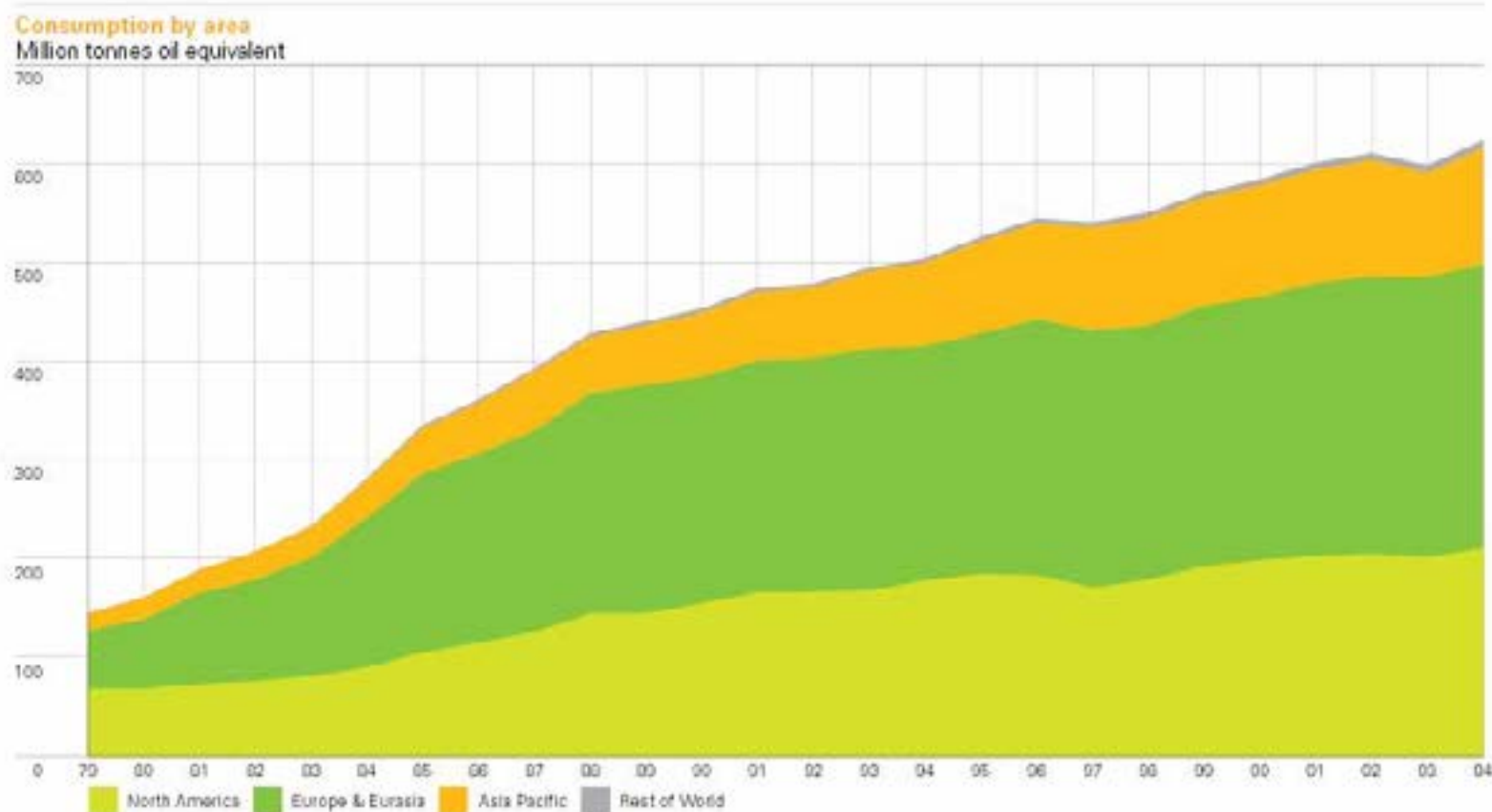
PER SODDISFARE IL 10% DEL CONSUMO ELETTRICO ITALIANO E - CON
BIOETANOLO - IL 10% DEL CONSUMO ITALIANO DI CARBURANTE PER
AUTOTRAZIONE

	$\times 10^9 \text{ €}$	km^2	ANNI DI VITA
NUCLEARE	10	1	40-60
FV	216	200	20+
TERMOELETTRICO	?	400	
EOLICO	28	3.000	15-20
BIOMASSA		24.000	
BIOETANOLO		100.000	

Una centrale nucleare inglese



Distribuzione della produzione di energia nucleare nel mondo



Il “caso idrogeno”

- L'idrogeno esiste in natura allo stato gassoso in piccola percentuale nella composizione dell'aria, e quindi deve essere prodotto artificialmente
 - per via termica dal metano $(\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{CO}_2)$
 - per via elettrolitica dall'acqua $(2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2)$
 - per via radiolitica dall'acqua $(2\text{H}_2\text{O} + \gamma \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2)$
- In tutti i casi è necessario un apporto di energia esterno, e nei primi due casi il bilancio economico-energetico complessivo è negativo.
- L'idrogeno, quindi, non è una *fonte* di energia, ma un *vettore energetico*, conveniente per altri motivi (impatto ambientale nullo) solo se si riesce a produrlo a basso costo.

argomenti

- ▣ Generalita' sull'energia;
- ▣ Fonti di energia primaria e ripartizione;
- ▣ Combustibili fossili;
- ▣ Energia solare, Biomassa e fotosintesi;
- ▣ Fonti a confronto;
- ▣ Clima.

Energia dal sole

Potenza emessa dal Sole: $3.88 \cdot 10^{26} \text{ W} = 3.88 \cdot 10^{14} \text{ TJ/s} = 4.3 \cdot 10^9 \text{ Kg} \cdot \text{c}^2/\text{s}$

Distanza Sole-Terra: 150 Mkm:

$$3.88 \cdot 10^{14} \text{ TW} / \{4 \cdot \pi [1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}]^2\} = 1372 \text{ W/m}^2 ;$$

$R_T = 6400 \text{ km}$; $1372 \text{ W/m}^2 \pi [6.4 \cdot 10^6 \text{ m}]^2 = 1.77 \cdot 10^5 \text{ TW} = 5.58 \cdot 10^{12} \text{ TJ/a} = 1.33 \cdot 10^8 \text{ Mtep/a} = 13300$ volte il "consumo" energetico annuo mondiale

In media su un m^2 di "superficie" terrestre:

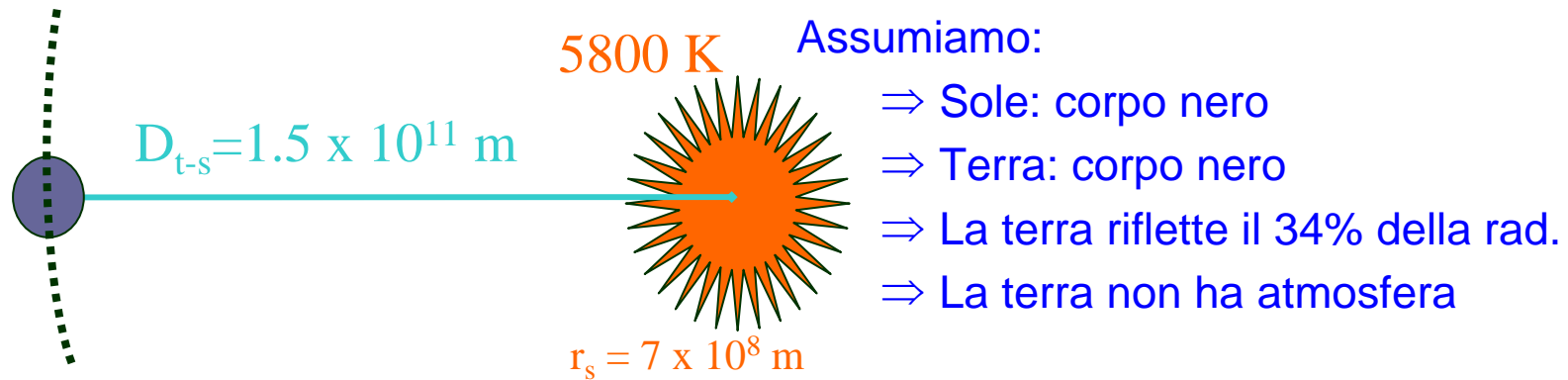
$$P = 1372 \text{ W/m}^2 (1 - 0.34) \pi R_T^2 / 4\pi R_T^2 = 226 \text{ W/m}^2$$

Albedo

sezione terrestre

superficie terrestre

Energia radiante



Quale sarebbe T_t in queste ipotesi?

Legge di Stefan-Boltzmann : $M(T) = \sigma T^4$

Equilibrio :

$$\sigma T_s^4 \cdot 4\pi r_s^2 \cdot \frac{\pi r_t^2}{4\pi d_{t-s}^2} \cdot (1-a) = \sigma T_t^4 \cdot 4\pi r_t^2$$

Flusso solare totale

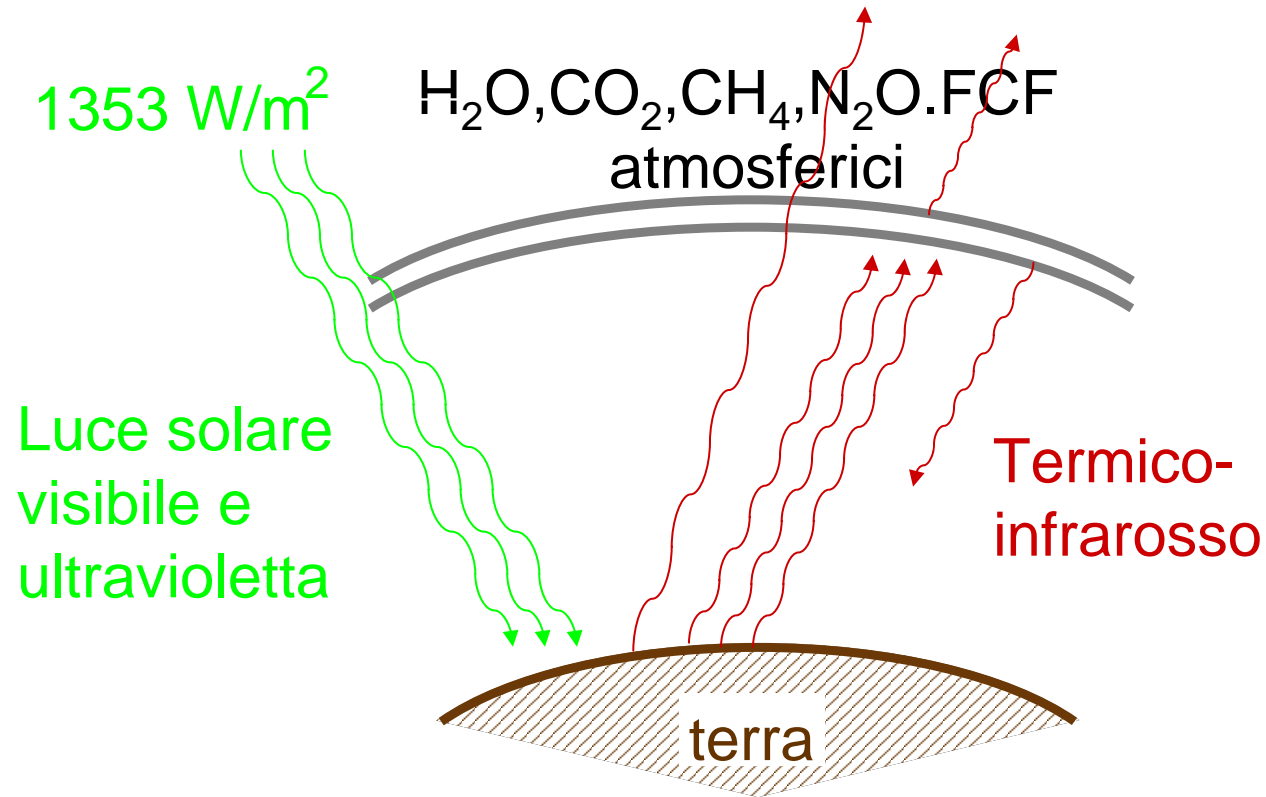
Frazione che la terra riceve

Albedo terrestre

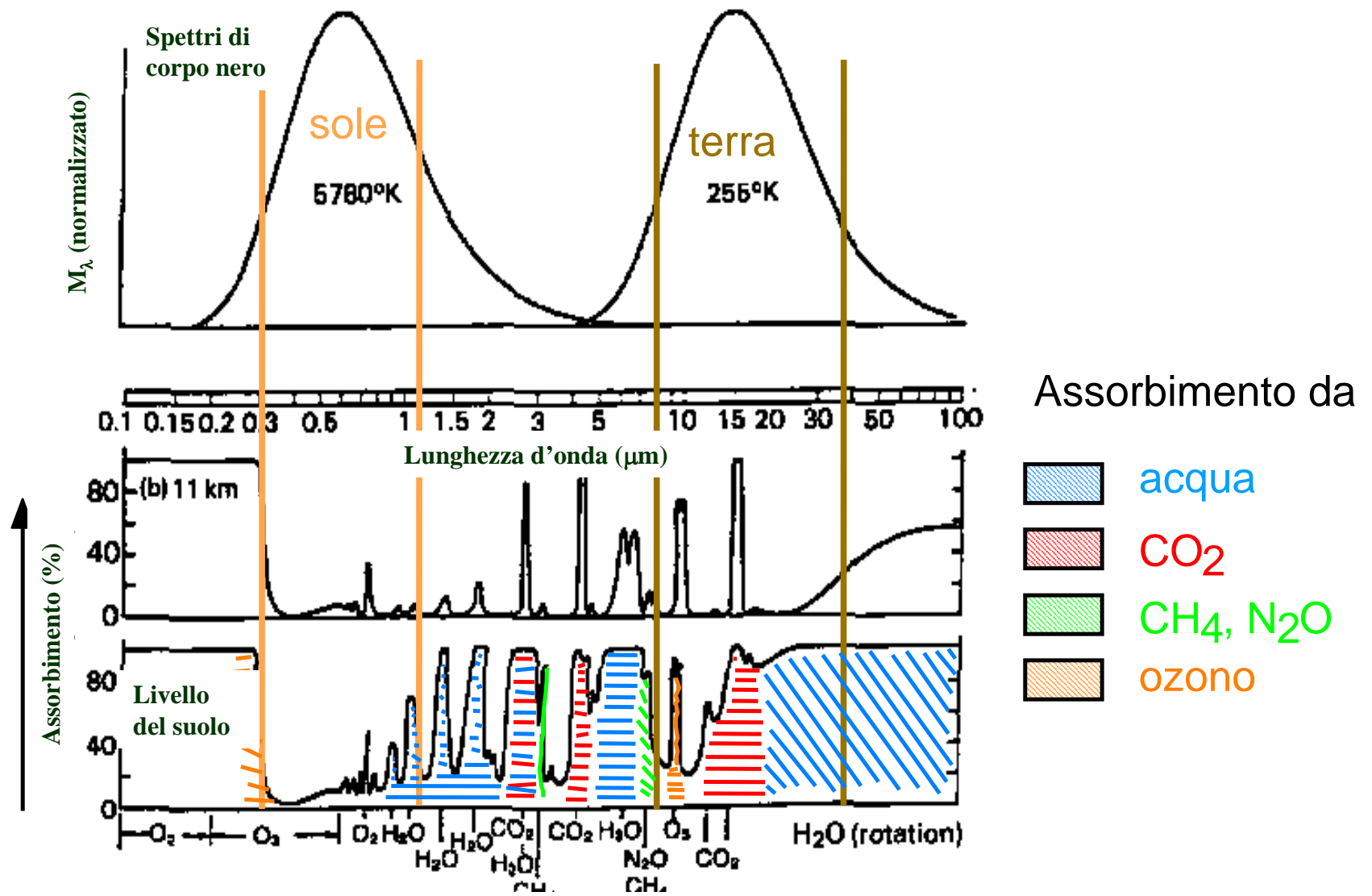
Flusso totale terrestre

$$\Rightarrow T_t = (1-a)^{1/4} \left(\frac{r_s}{2d_{t-s}} \right)^{1/2} \cdot T_s \quad T_t = 252.5 \text{ K } (\approx -20^\circ \text{C})$$

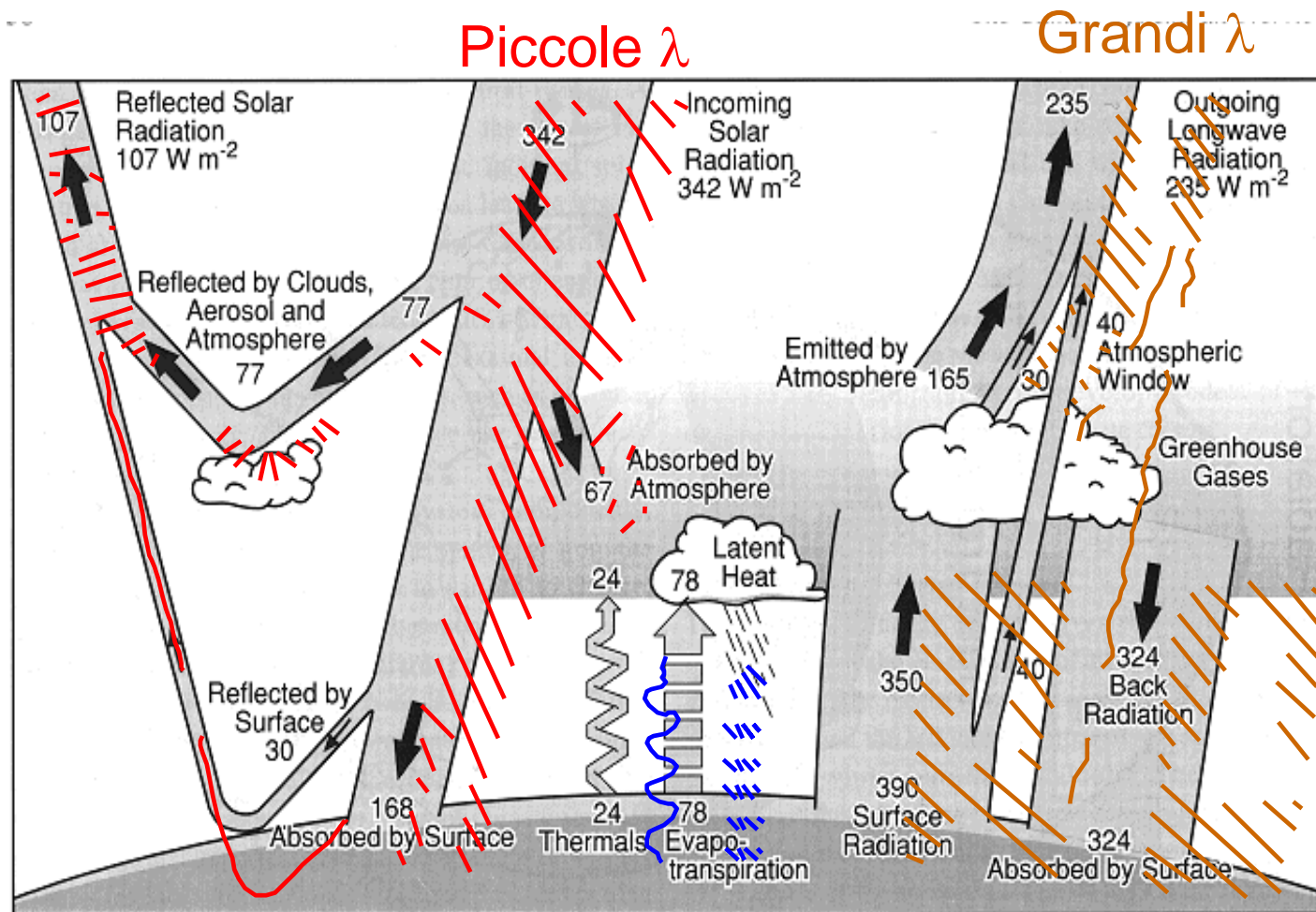
Le basi del nostro clima



situazione reale presente: T media = + 15 °C



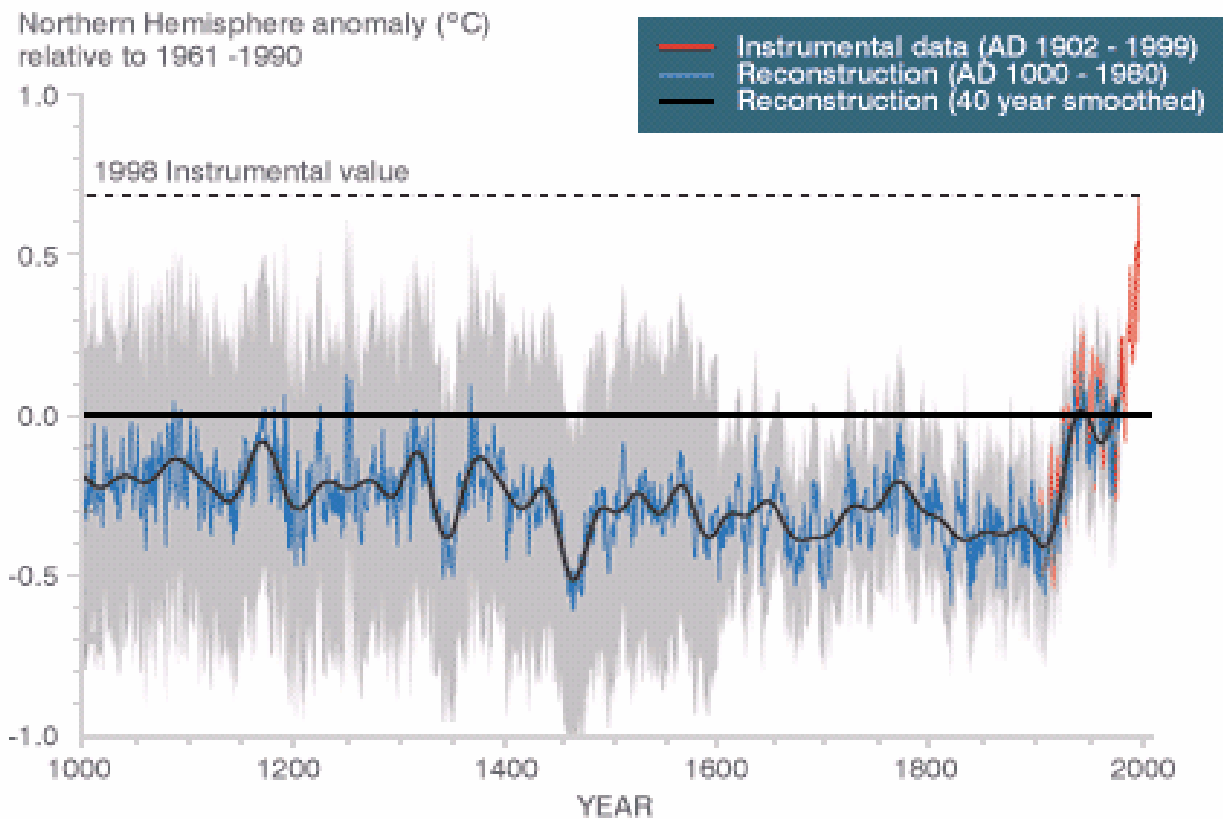
BILANCIO DELLA RADIAZIONE (schematico)



IPCC 1995

Trasporto atmosferico

Andamento della CO2 nel tempo



Cambiera' il clima?

● Climate change: report warns point of no return may be 10 years, leading to droughts, agricultural failure and water

Countdown to global catastrophe

By MICHAEL MCCARTHY
Environment Editor

THE CLASH warming danger threshold for the world is clearly marked for the first time in an international report to be published tomorrow - and the bad news is, the world has nearly reached it already.

The countdown to climate-change catastrophe is spelled out by a task force of senior politicians, business leaders and academics from around the world - and it is remarkably brief. In as little as 10 years, or even less, their report indicates, the point of no return with global warming may have been reached.

The report, Meeting The Climate Challenge, is aimed at

ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE

CO₂ concentration, parts per million



changes. These could include widespread agricultural failure, water shortages and major droughts, increased disease, sea-level rise and the death of

to affect the climate. But it points out that global average temperature has already risen by 0.8 degrees since then, with more rises already in the



argomenti

▣ Fine della prima parte