

La fisica dell'energia

Ezio Menichetti
Dip. di Fisica
Universita' di Torino

Forza

Grandezza fisica che interviene a modificare lo stato di moto dei corpi

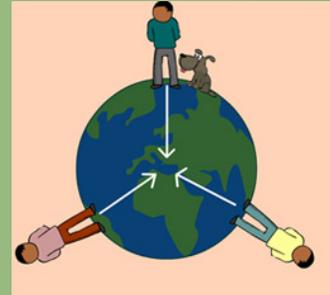
Diverse forze in natura:

Gravitazionali, Elettromagnetiche, Forti, Deboli

Ognuna con caratteristiche specifiche e diverse
Chiamate anche interazioni

Esempi

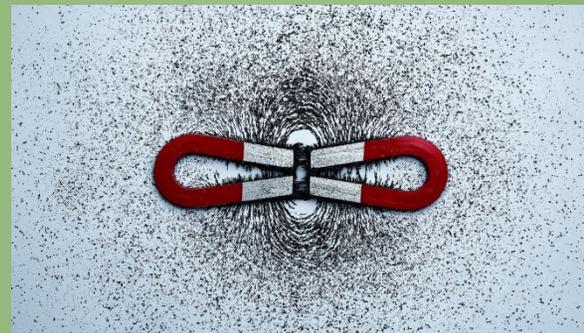
Forza di gravita'



Forza elettrica



Forza magnetica



Sistema fisico

Qualunque oggetto materiale, e anche di piu'..
Esempio piu' semplice: Gas di molecole



Lavoro

Grandezza fisica che misura l'effetto cumulativo di una forza su un sistema fra uno stato iniziale e uno finale

$$\text{Lavoro} = F_{\text{bastone}} \times \text{Spost}_{\text{palla}}$$

Effetto:

Variazione della velocità



$$\text{Lavoro} = F_{\text{gambe+braccia}} \times \text{Spost}_{\text{corpo}}$$

Effetto:

Variazione della configurazione



Variazioni

In taluni casi:

Lavoro di una data forza = Variazione di una quantità legata al moto del sistema

→ *Energia cinetica*

In altri casi:

Lavoro di una data forza = Variazione di una quantità legata alla configurazione del sistema

→ *Energia potenziale*

Energia

Grandezza fisica che misura (insieme ad altre) lo stato dinamico/configurazionale di un sistema

Necessaria, ma non sufficiente, a descrivere in modo completo lo stato del sistema

Sufficiente se quel che interessa e' misurare:

l'effetto sul sistema del lavoro eseguito su di esso
la capacita' del sistema di eseguire lavoro

Unita' di misura

Lavoro, Energia:

Joule

Elettronvolt

Kilowattora

Energia per unita' di tempo = Potenza:

Watt

Conservazione - I

In diversi casi, spesso idealizzati:

L , E_{cin} , E_{pot} possono essere scambiati 'alla pari'

Come conseguenza, per un sistema isolato:

$$E_{cin} + E_{pot} = \text{costante}$$

→ *En. totale conservata*

Conservazione - II

Tuttavia:

Evoluzione dei sistemi fisici reali include processi nei quali la somma $E_{cin} + E_{pot}$ *non* e' costante. Perche'?

Sistemi fisici reali: spesso costituiti da *molte* molecole

Effetto di una forza esterna sull'insieme delle molecole:

Dispersione statistica di parte del lavoro eseguito

sul sistema nell'en. cinetica di molte molecole

→ Sviluppo di *Calore* \equiv En. cinetica disordinata

Conservazione - III

Un po' piu' rigorosamente:

Calore = En. cinetica molecolare alla quale
non corrisponde quantita' di moto del sistema

Tenendo conto del calore, per un sistema isolato

$E_{totale} = costante$ rigorosamente *sempre*

Energia e campi

Oltre l'orizzonte meccanico:

Energia trasportata e immagazzinata anche nei campi di forze, pes gravitazionale o elettromagnetico

Situazione meno intuitiva, tuttavia:

Anche questa puo' scambiarsi alla pari con le altre forme di energia, anche *propagandosi* fra sistemi diversi

Esempio: *Luce*

Bilancio energetico umano

Sopravvivenza + Attivita' fisica ~ **125 W**

→ **10 MJ/giorno** = **2,8 kWh/giorno** per persona

In Europa:

Lavoro, trasporto, riscaldamento, illuminazione,..

~ **400 MJ/giorno** = **110 kWh/giorno** per persona

Media mondiale ~ **60 kWh/giorno** per persona

Consumo mondiale ~ **$5 \cdot 10^{20}$ J/anno** = **$1,4 \cdot 10^{14}$ kWh/anno**

Il pianeta Terra

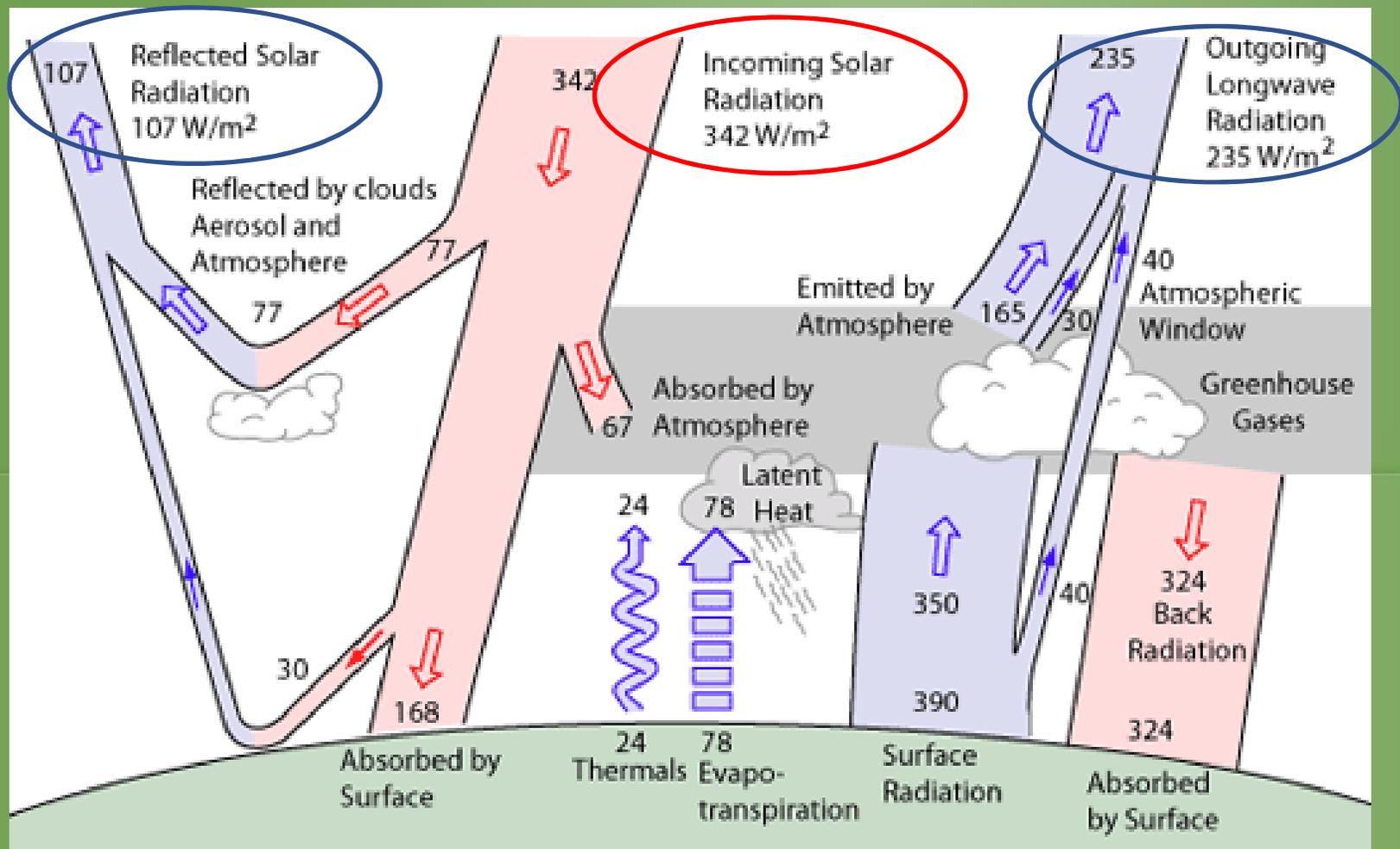
Sistema 'chiuso' , ma non 'isolato':

Nessun flusso di materia

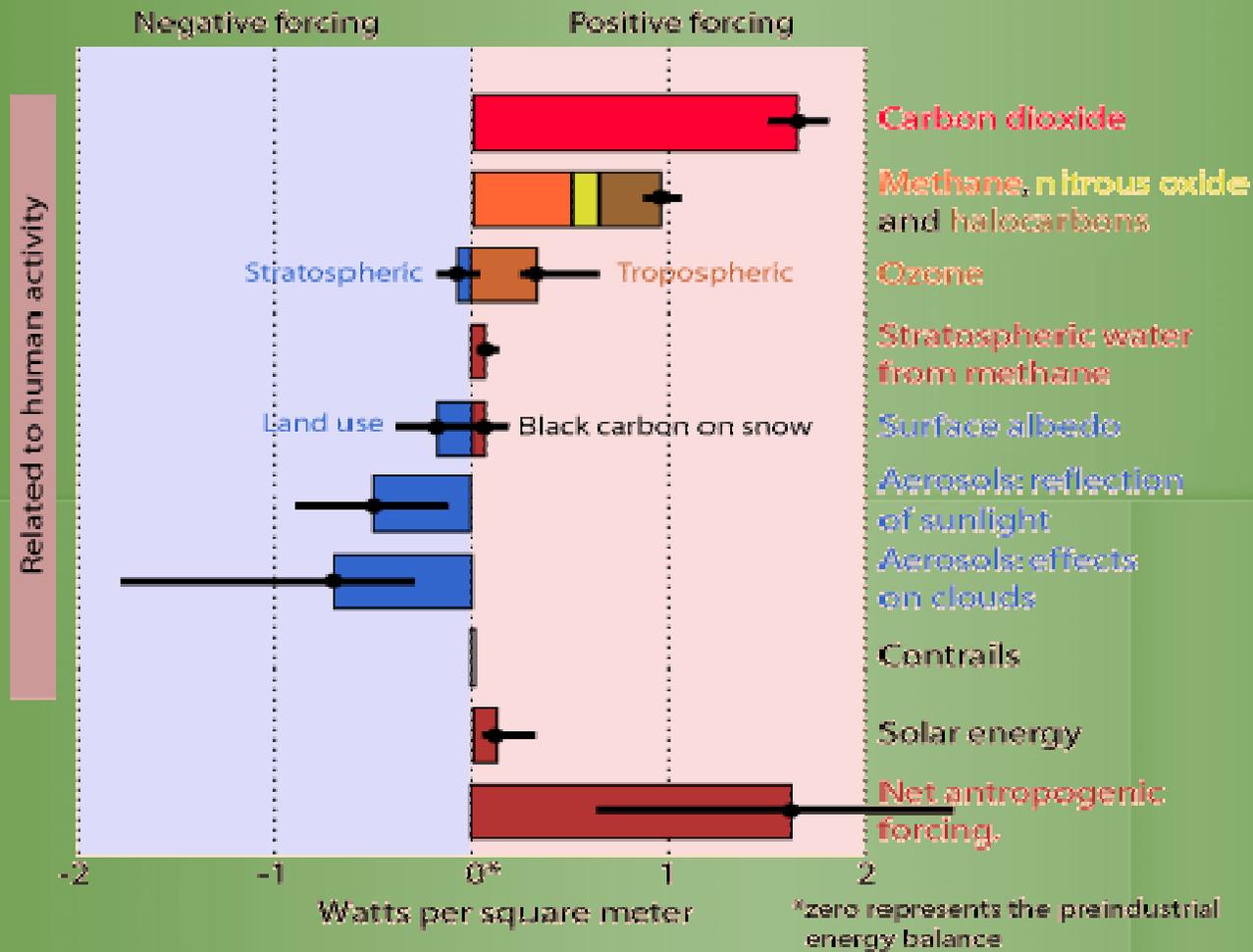
Potenza dal Sole $1,7 \cdot 10^{17} \text{ W} \sim 1,5 \cdot 10^{18} \text{ kWh/anno}$

Tuttavia: Situazione di sostanziale equilibrio termico

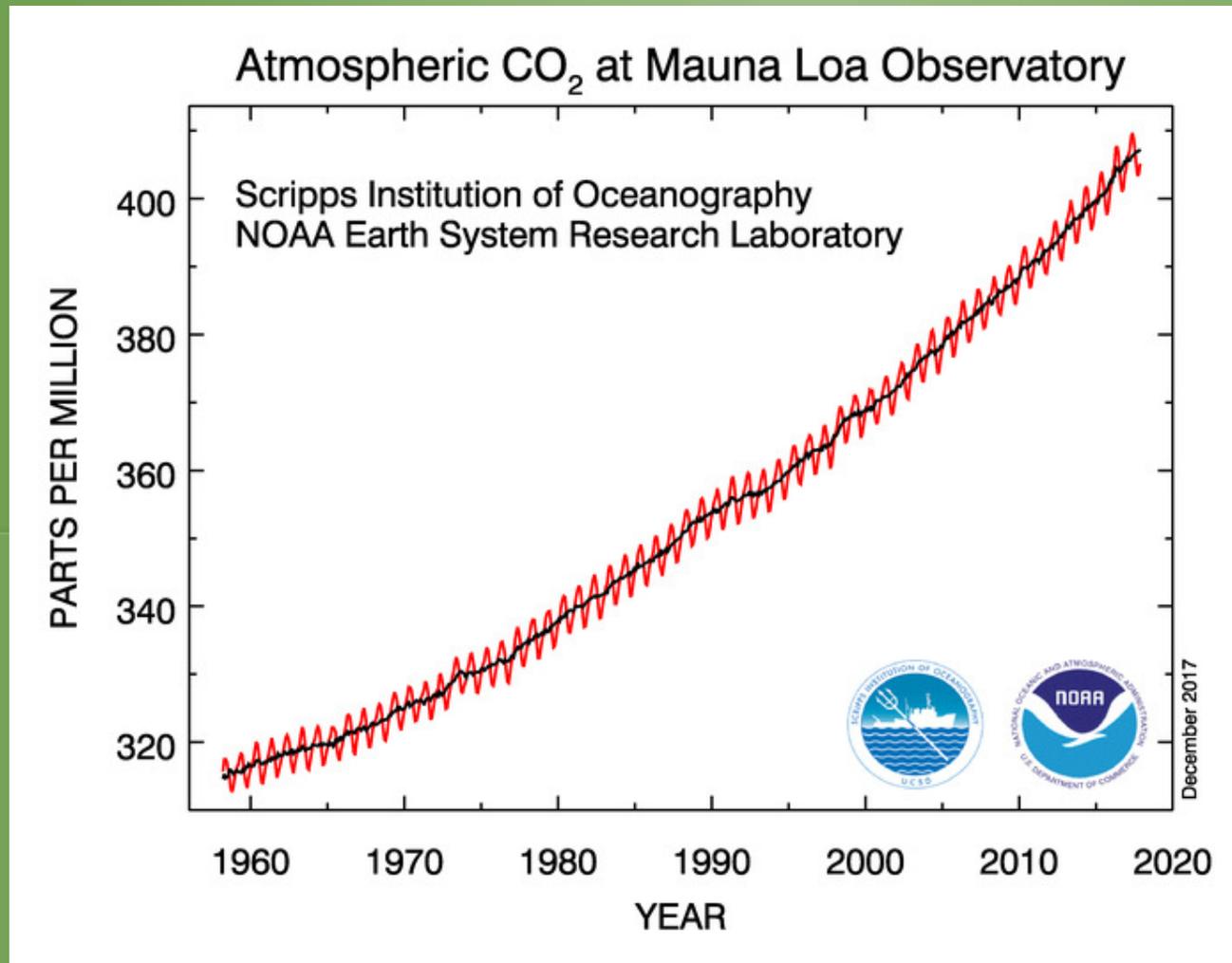
Bilancio energetico della Terra



Spostamento dell'equilibrio



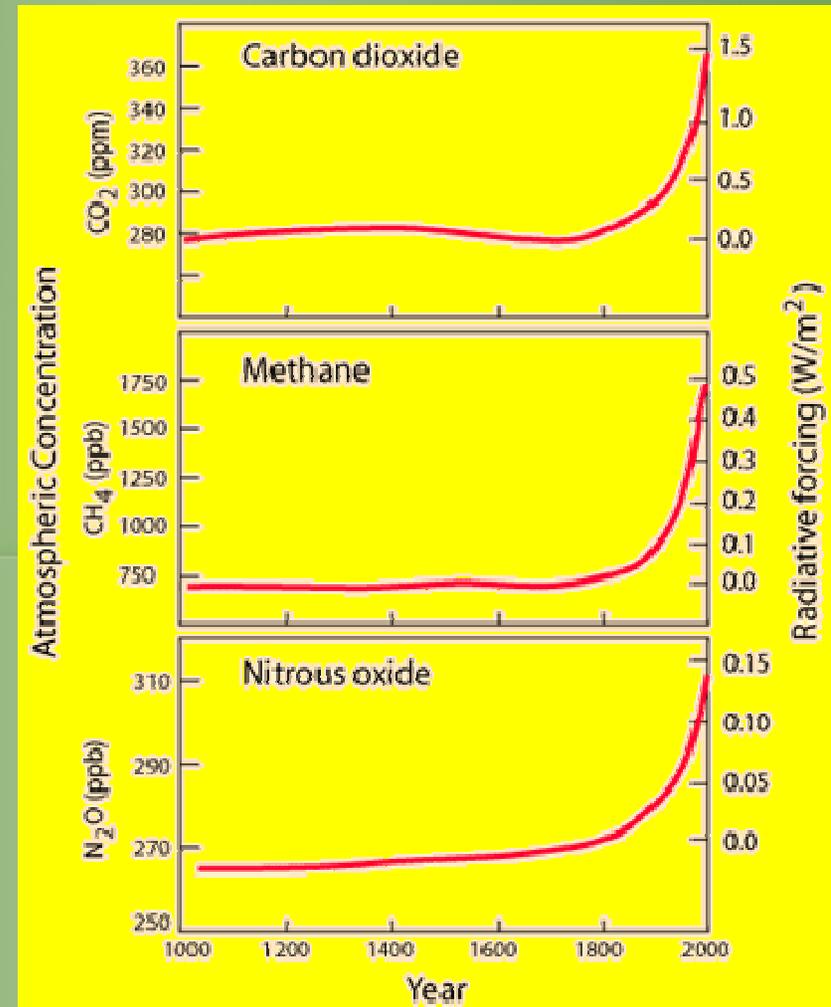
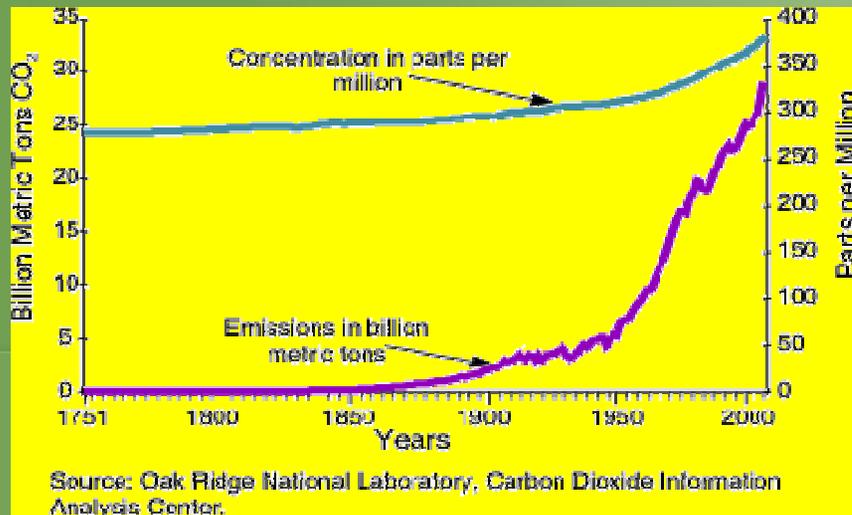
CO₂...



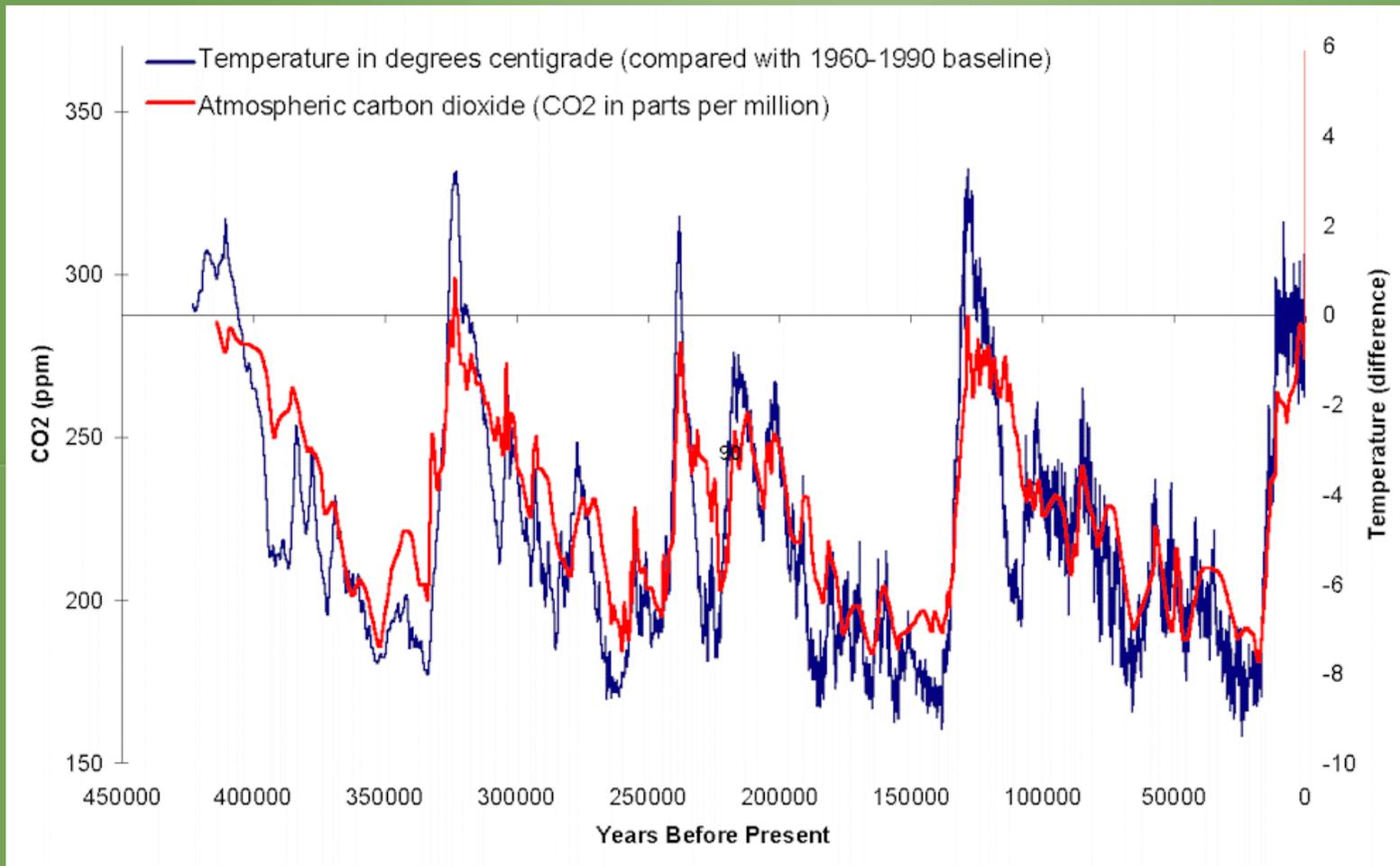
Mauna Loa, tre giorni fa



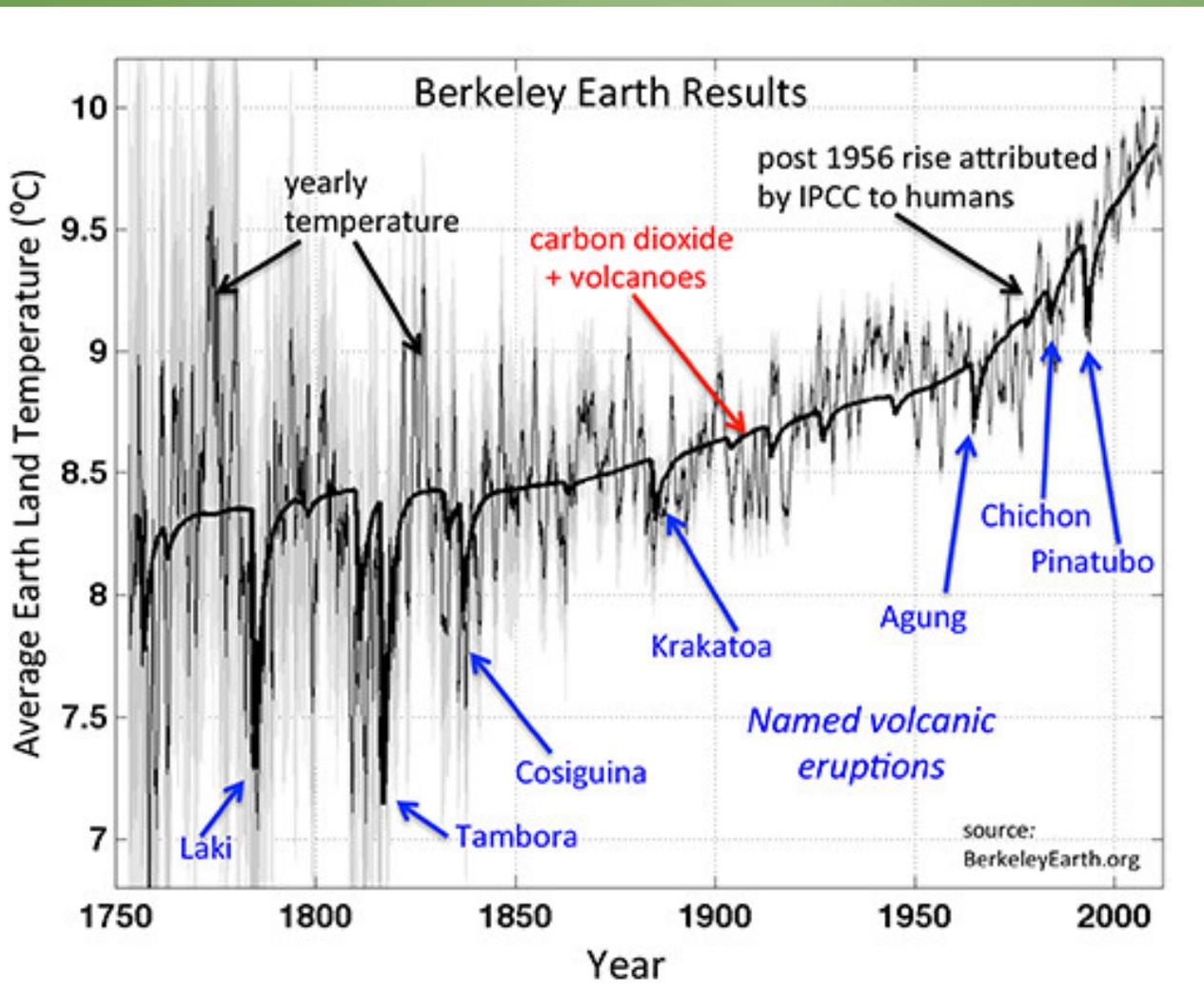
... e industrializzazione



Global Warming - I

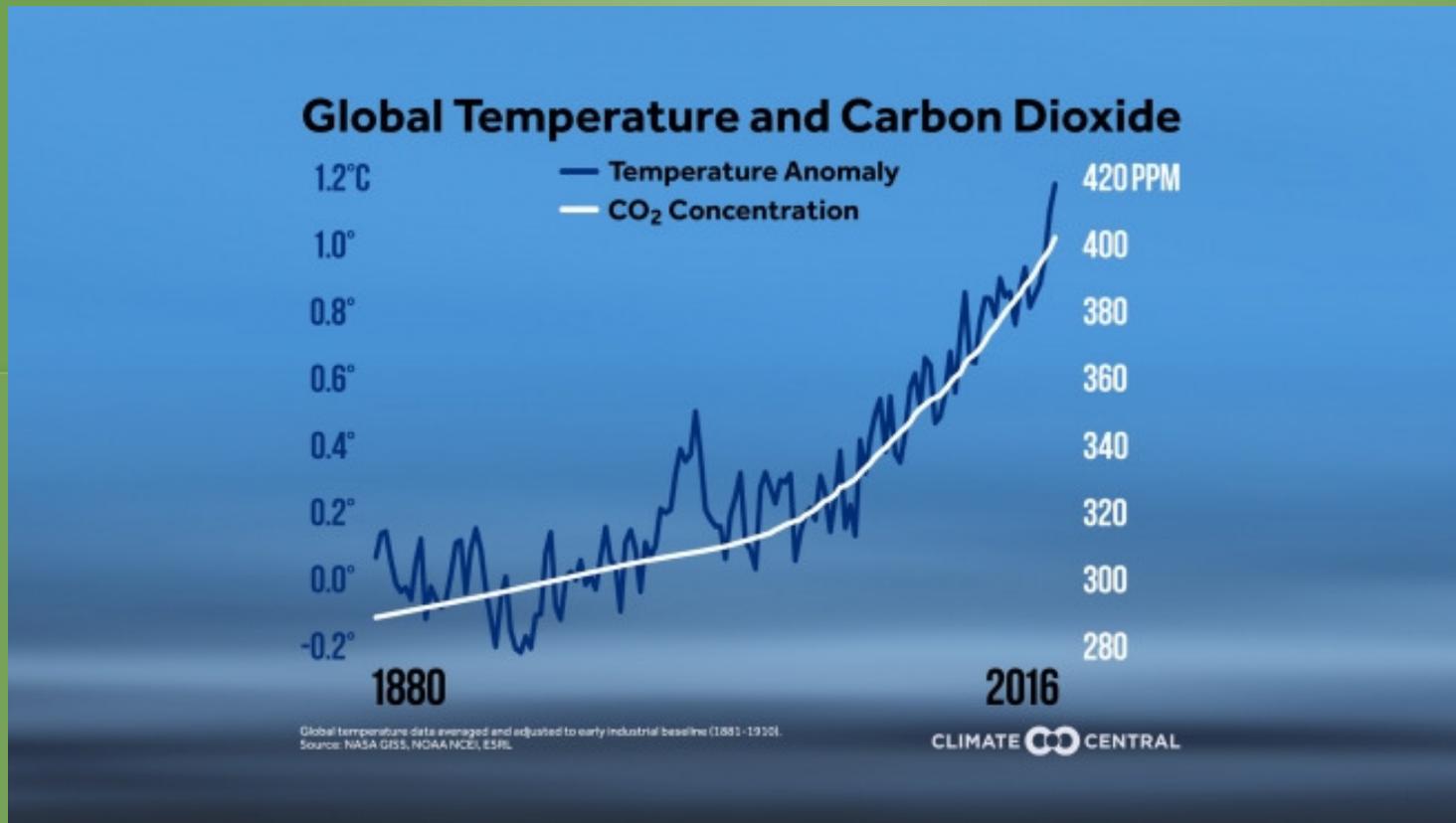


Global Warming - II



Global Warming - III

CO₂ vs T negli ultimi 150 anni



Fonti energetiche

Combustibili fossili

Solare

Biocombustibili

Vento

Onde e maree

Idroelettrico

Geotermico

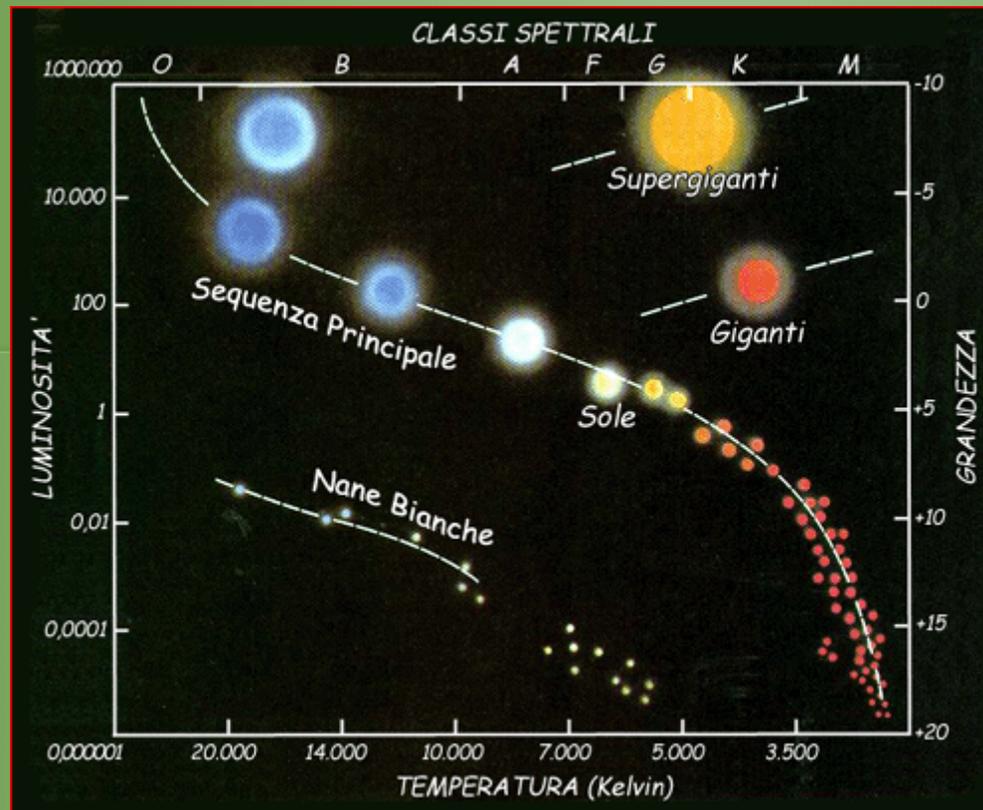
Nucleare

Derivanti direttamente
o indirettamente dagli effetti
della radiazione solare

Indipendenti dagli effetti
della radiazione solare

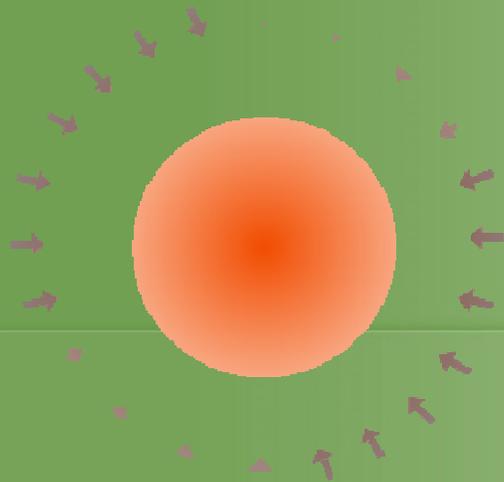
Dove (quasi) tutto comincia: Il Sole

Non molto glorioso: Stella di tipo G, 'nana gialla'

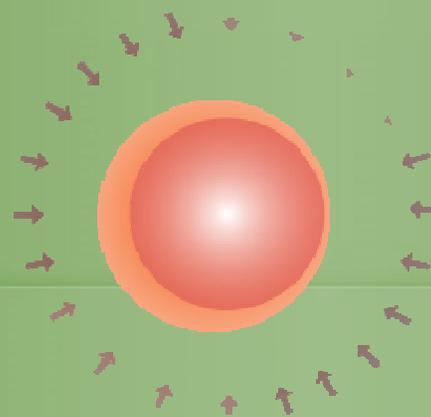


Formazione stellare

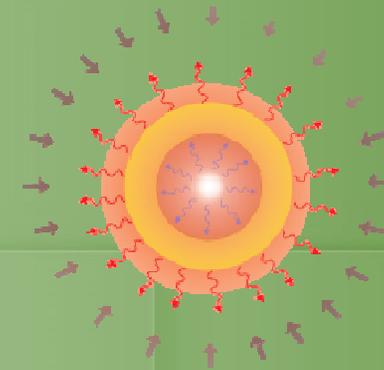
Nuvola interstellare di gas (Idrogeno/Elio) e polvere:
Incremento casuale di densita'



Contrazione gravitazionale
Riscaldamento

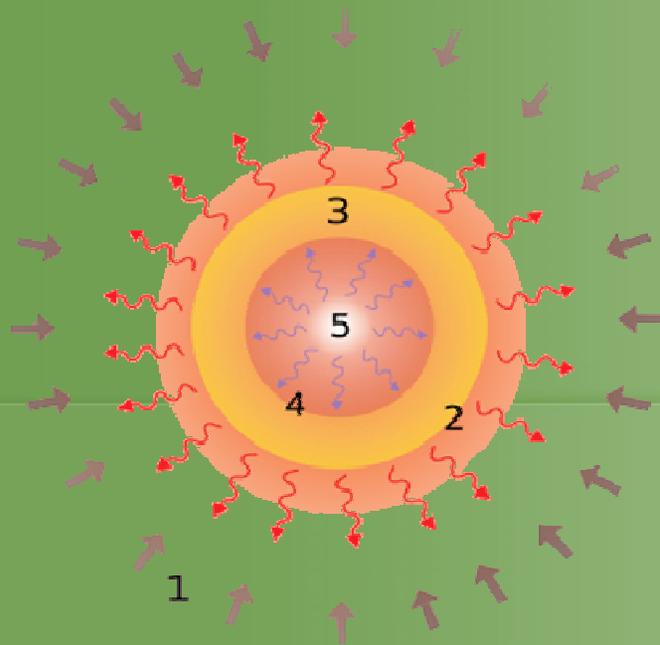


Accensione
Reazioni termonucleari



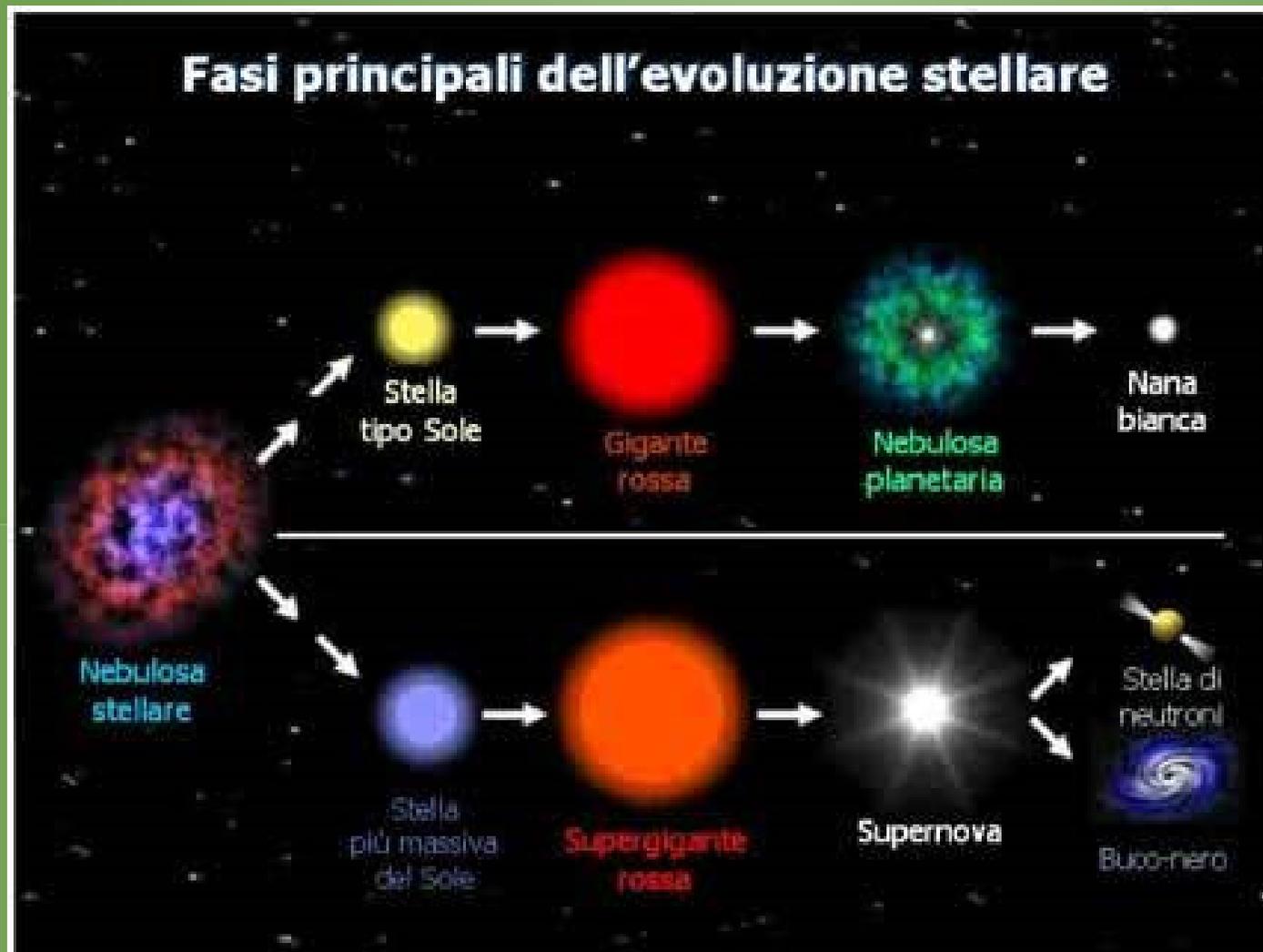
Equilibrio
 $E_{\text{grav}} \leftrightarrow$ Radiazione

La struttura di una protostella



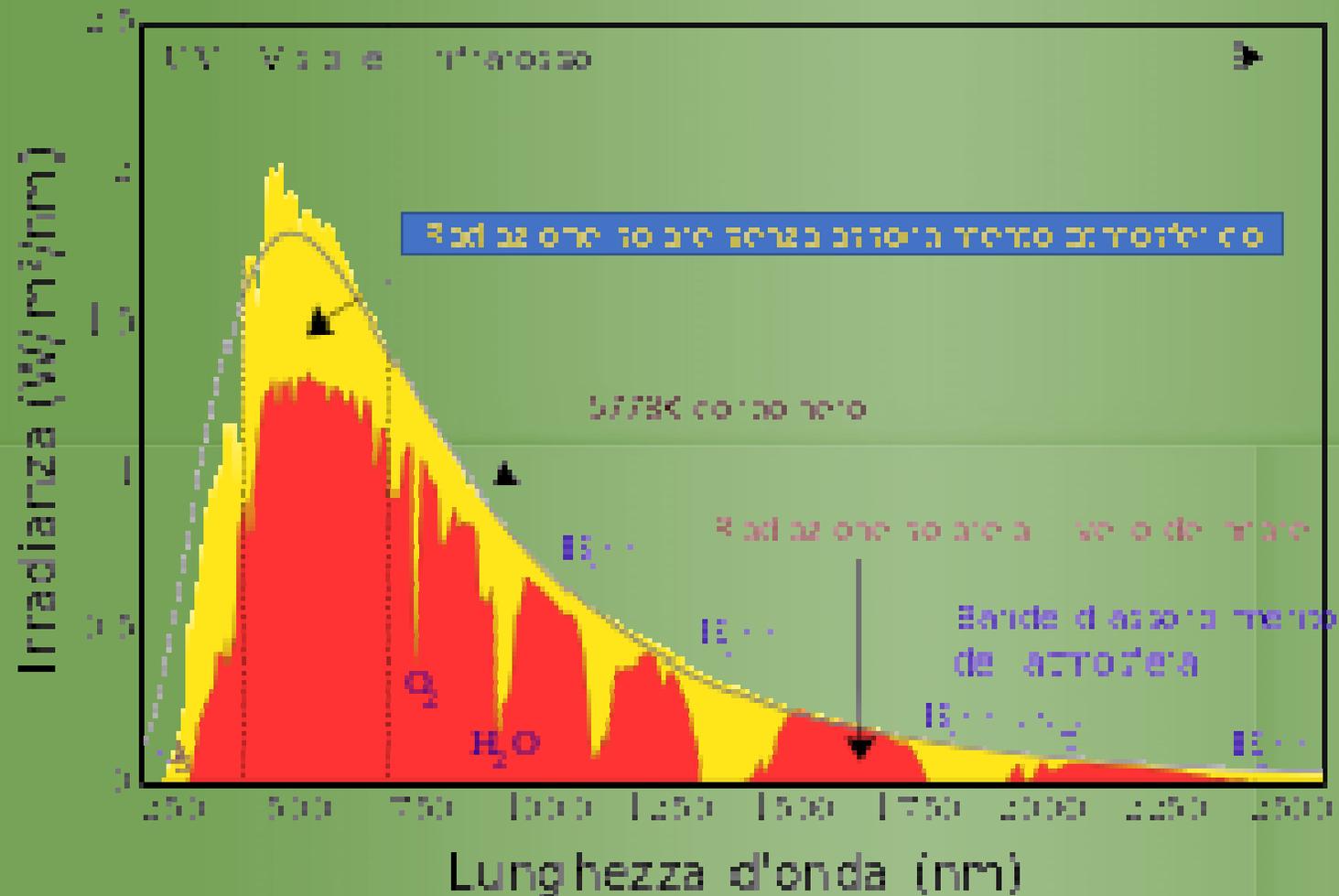
1. Gas della nube in caduta (otticamente trasparente).
2. Fotosfera infrarossa (falsa fotosfera).
3. Guscio di polveri in caduta (otticamente opaco).
4. Fronte d'urto (sublimazione delle polveri).
5. Nucleo idrostatico protostellare.

Evoluzione stellare



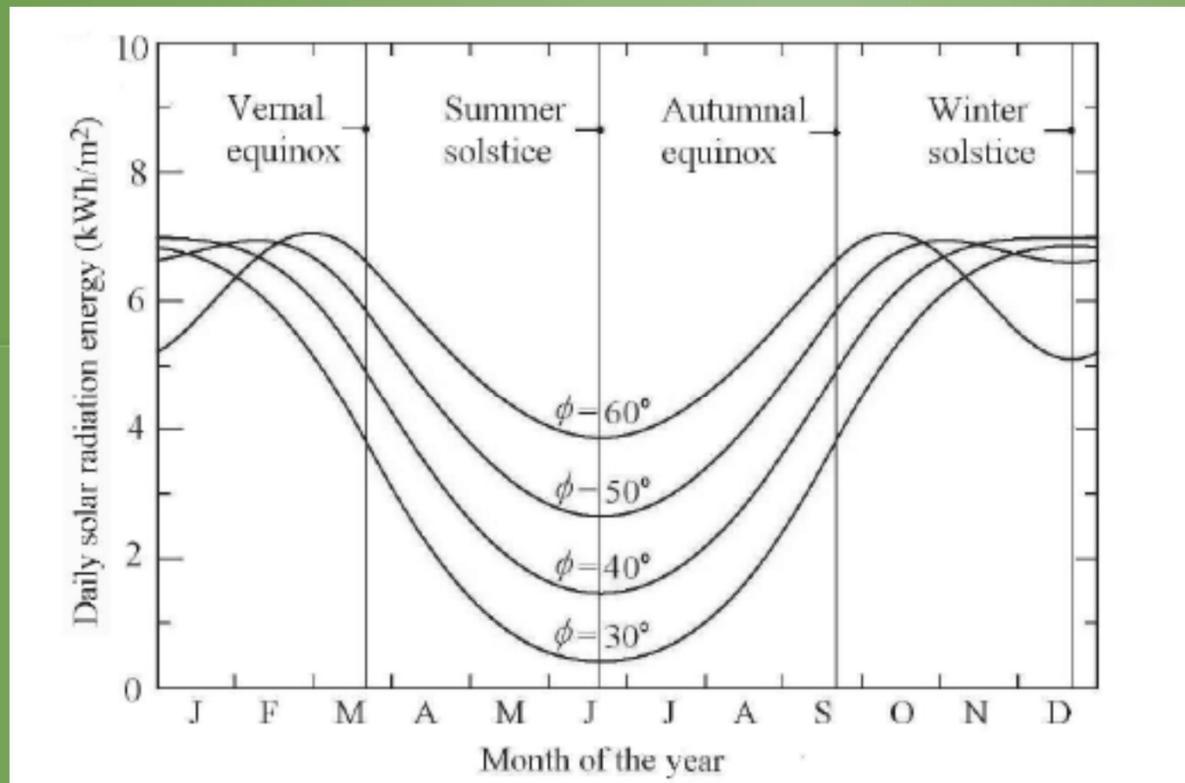
Solare - I

Spettro della radiazione solare (Terra)



Solare - II

Effetto altezza del Sole + durata del giorno



Solare - III



Solare - IV

Tipi di generatori solari:

Solare termico



Solare termodinamico

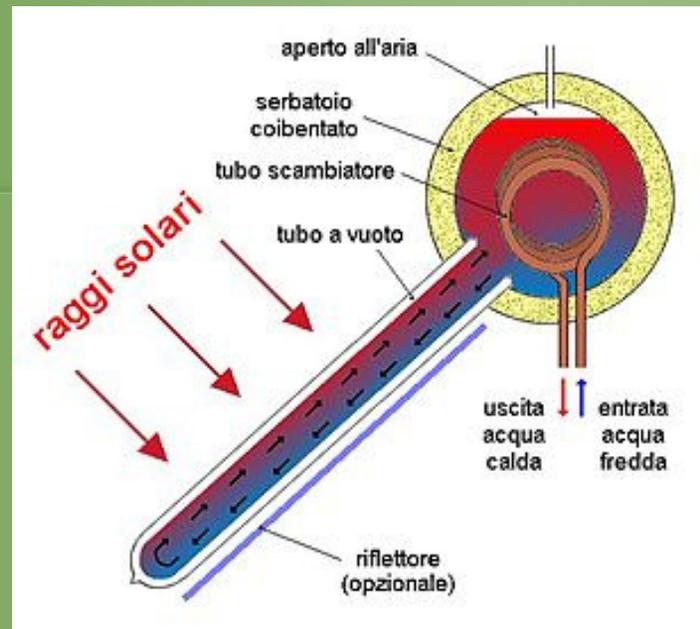


Solare fotovoltaico



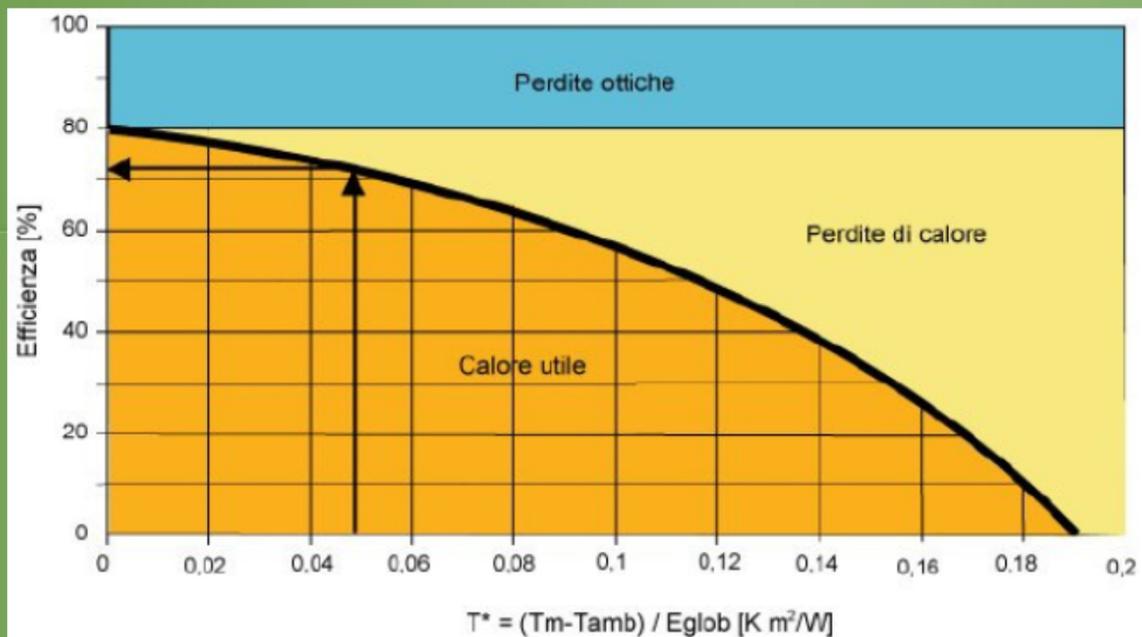
Solare termico - I

Radiazione solare usata per riscaldare un fluido, a scopo principale distribuzione di acqua calda sanitaria tramite scambiatore di calore



Solare termico - II

Efficienza vs differenza di T fra fluido e ambiente:
Effetto delle perdite per irraggiamento termico



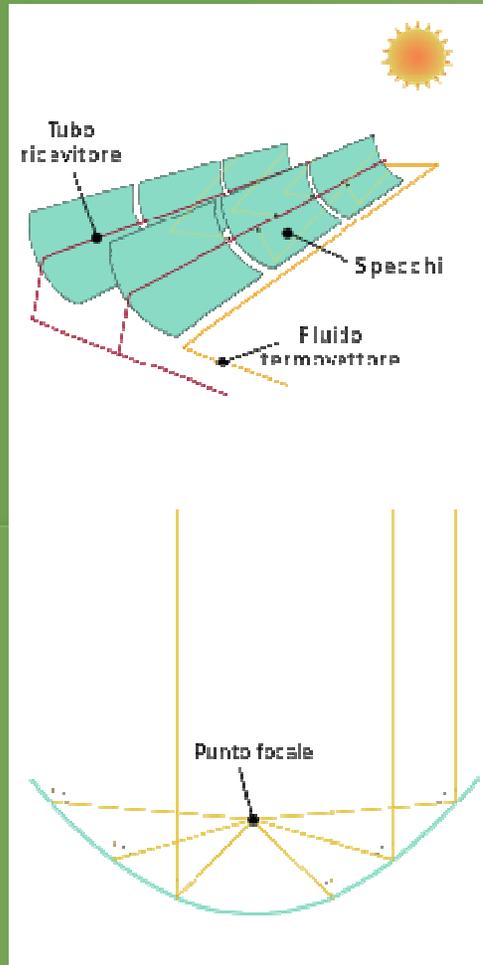
Solare termodinamico

Come solare termico, ma con lo scopo principale di produrre energia elettrica

Fluido portato ad alta temperatura, grazie ad ottiche specializzate (specchi etc)

Vapore utilizzato per energizzare una turbina collegata ad un alternatore

Solare termodinamico - II



Progetto Archimede (Siracusa)



Solare fotovoltaico

Conversione diretta di energia solare in energia elettrica

Meccanismo legato alle proprietà dei materiali semiconduttori (quelli dei circuiti integrati...)

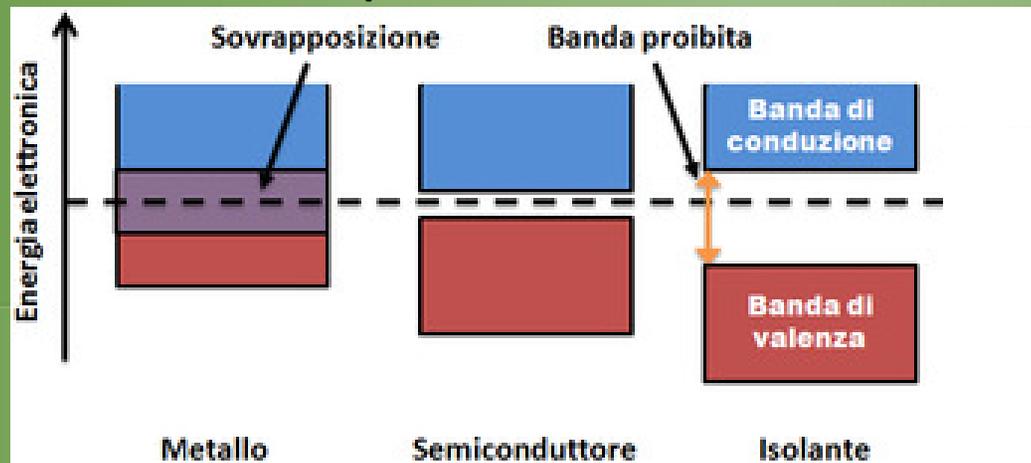
Bassa efficienza, scarso inquinamento

(solo quello legato alla produzione e allo smaltimento dei pannelli)

Costi elevati, ma in notevole diminuzione

Semiconduttori

Struttura a bande dei livelli energetici nei cristalli:
conseguenza della periodicità cristallina



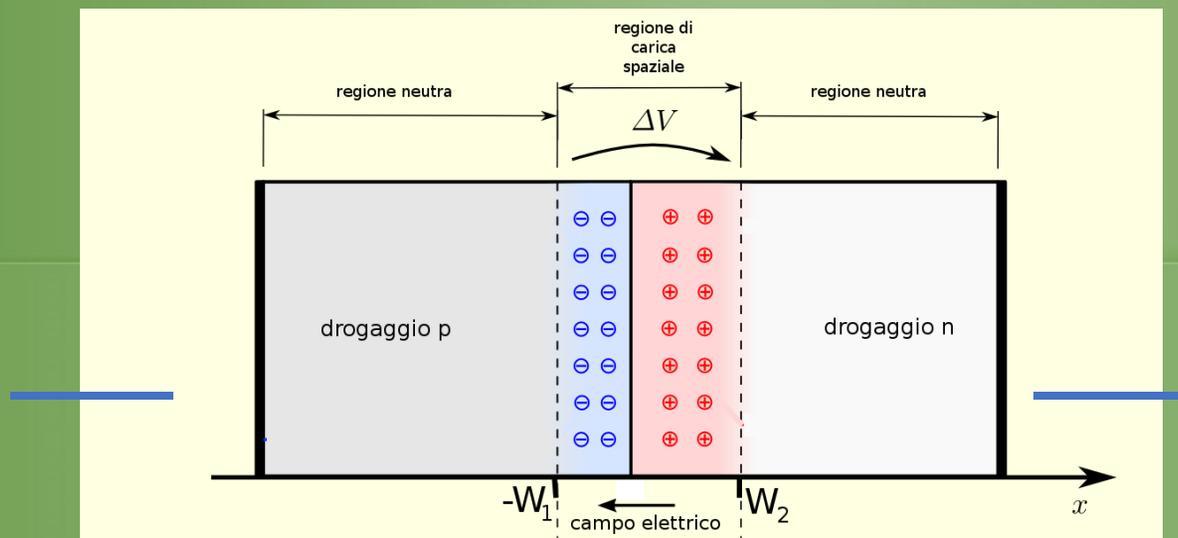
Portatori di carica di due tipi:

Elettroni (banda di conduzione), n

Lacune (banda di valenza), p

Giunzione pn

Possibile realizzare semiconduttori a maggioranza p o n
Giunzione fra semiconduttori di tipo diverso:

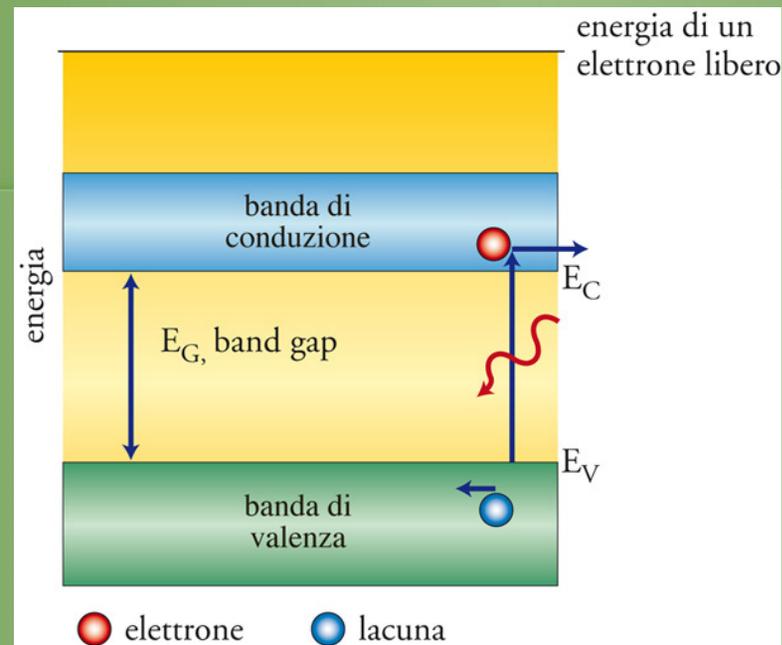


→ Corrente elettrica 'a senso unico'

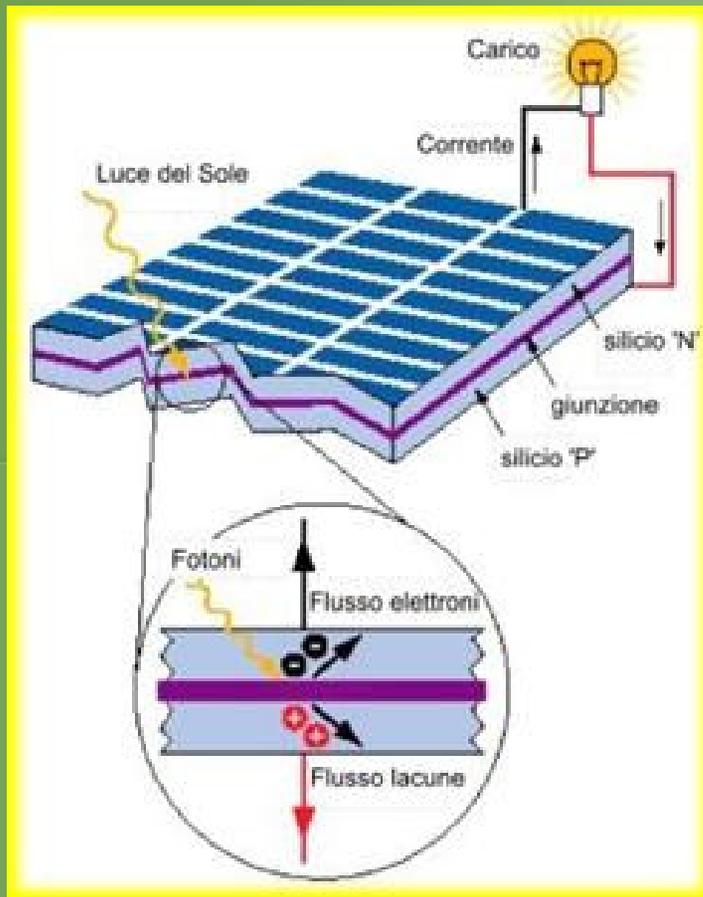
Effetto fotovoltaico

Concentrazioni di elettroni e lacune nella giunzione incrementate da assorbimento di luce

→ Corrente fotovoltaica



Cella fotovoltaica



Bilancio energetico

100% irraggiamento solare

- 3% fenomeni di riflessione, presenza contatti metallici

- 23% fotoni troppo poco energetici

- 32% fotoni troppo energetici

- 8,5% fenomeni di ricombinazione

- 20% gradiente elettrico all'interno della cella

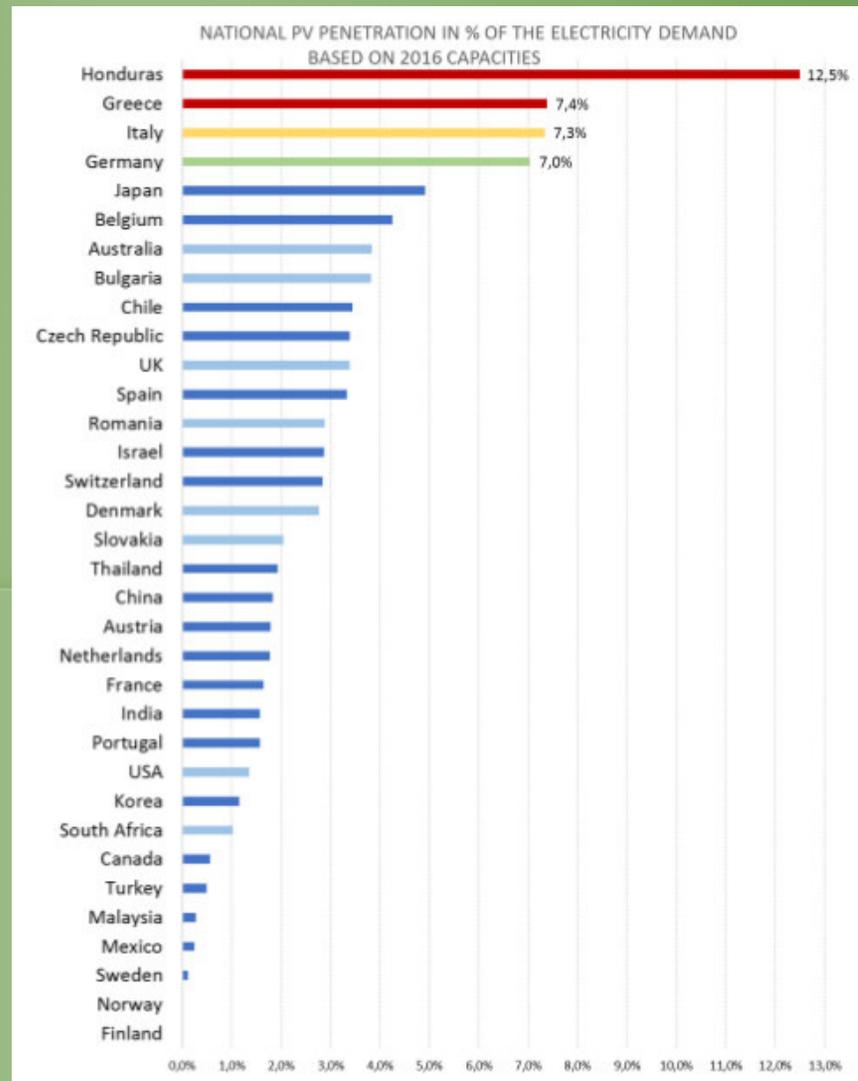
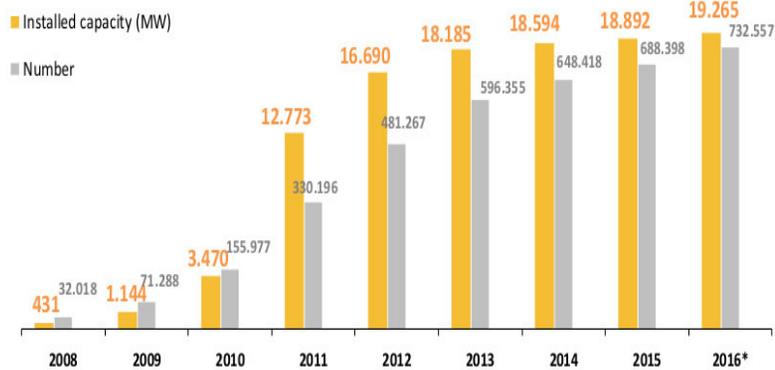
- 0,5% perdite termiche dovute a resistenza dei contatti

=13% energia elettrica utilizzabile

Migliorabile (ma non indefinitamente)

Numeri del fotovoltaico in Italia

Number and capacity of PV plants in Italy

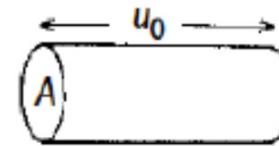


Eolico

Potenza trasportata da una sezione A di vento con vel u_0

$$P_0 = \frac{1}{2} (\rho A_1 u_0) u_0^2 = \frac{1}{2} \rho A u_0^3$$

$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ in condizioni standard,
per $u_0 = 10 \text{ m/s}$ $P_0/A = 610 \text{ W/m}^2$
per $u_0 = 25 \text{ m/s}$ $P_0/A = 10 \text{ kW/m}^2$



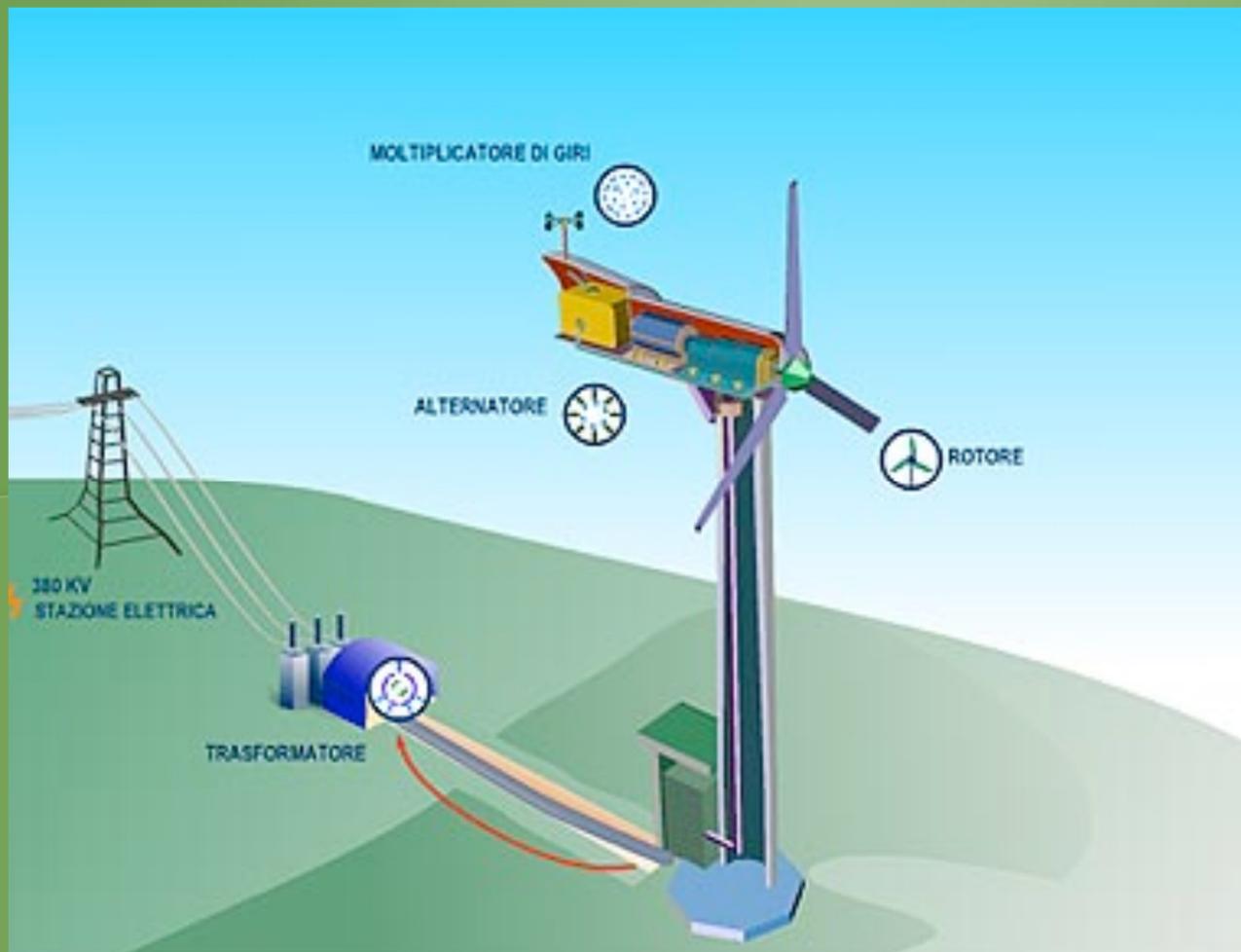
Mass of column $\rho A u_0$, kinetic energy $\frac{1}{2} (\rho A u_0) u_0^2$

Alla turbina: Ridotta a circa il 30-40%

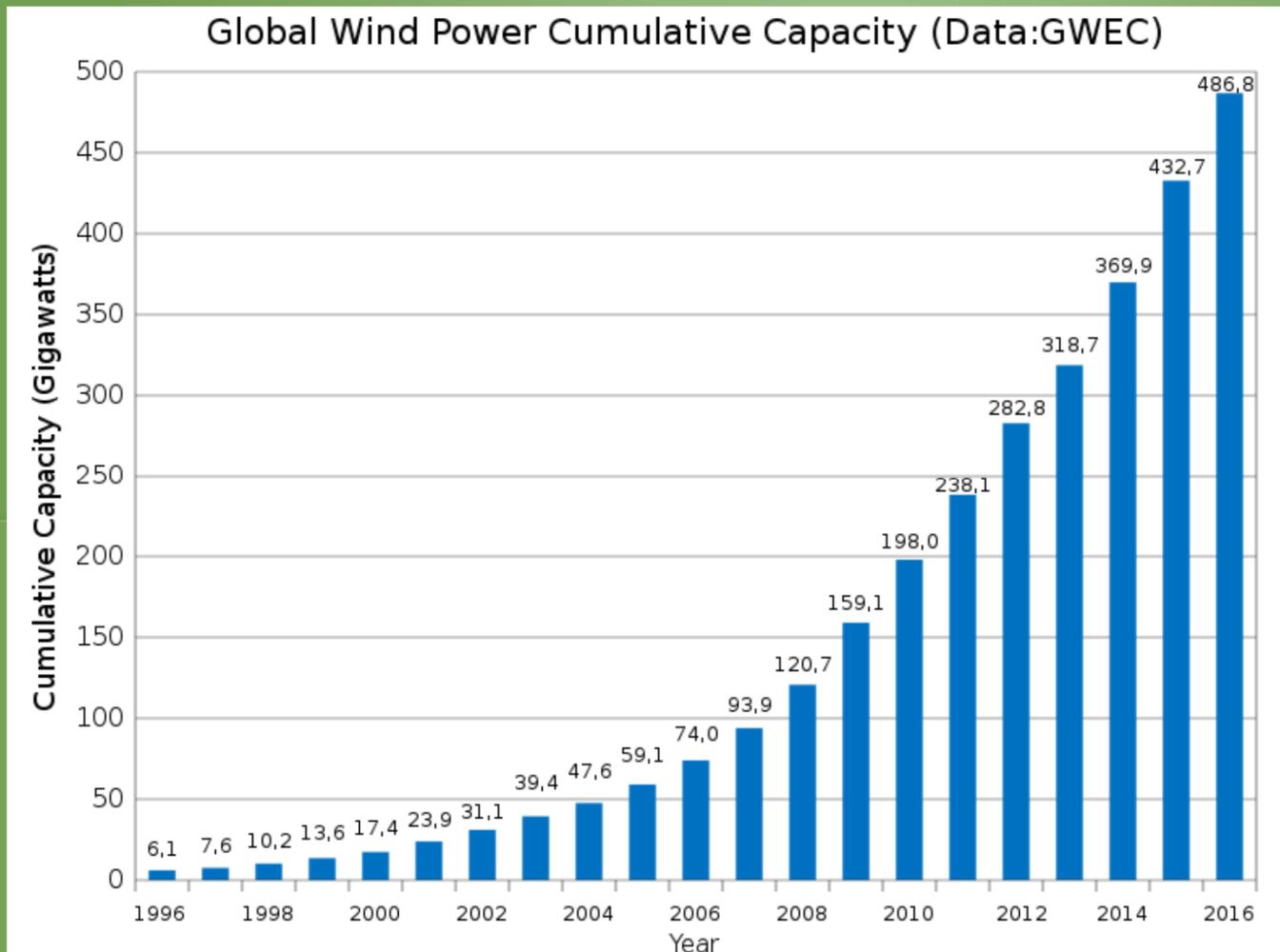
Nel caso di una grande turbina eolica, con pale di raggio 35m, la potenza per vento di vel 10m/s è

$$P \approx 0.4 \frac{1}{2} 1.2 \text{ kg/m}^3 (10 \text{ m/s})^3 \pi (35 \text{ m})^2 \approx 0.9 \text{ MW}$$

Schema di impianto eolico



Eolico nel mondo



Nucleare - I

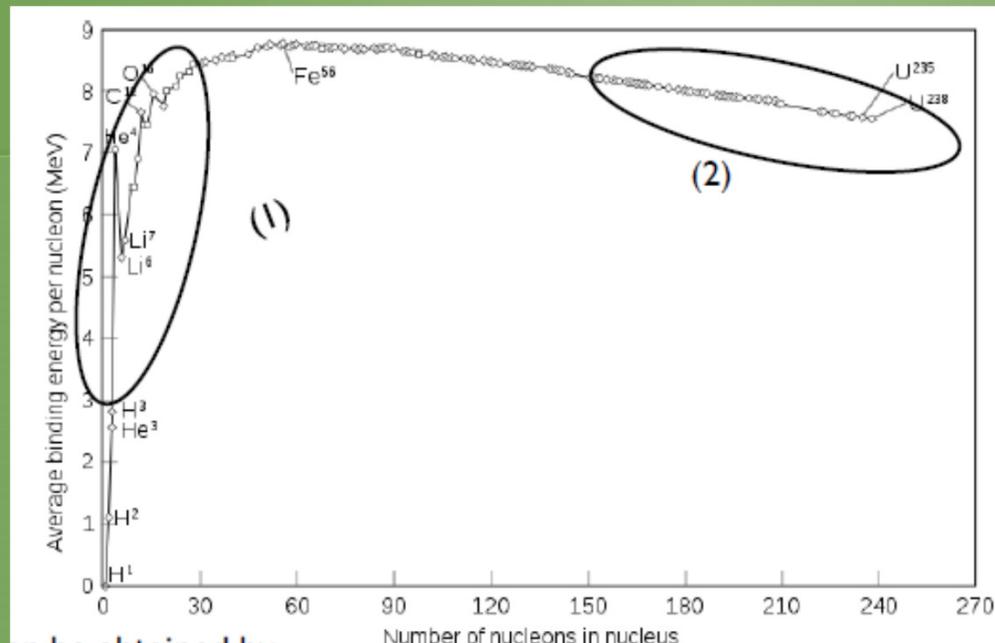
Nucleo: stato legato di protoni e neutroni \equiv *nucleoni*

Nuclei piu' leggeri

Nuclei piu' pesanti

Meno legati di quelli intermedi

En. legame
per nucleone



Peso atomico

Nucleare - II

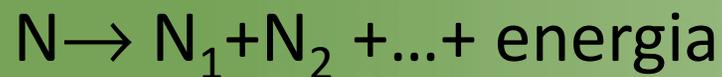
Forza in gioco: *Interazione forte* (non elettromagnetica)

Nuclei meno legati \rightarrow Meno stabili

Fusione:



Fissione:

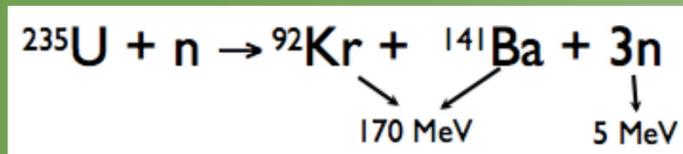


Energia: En. cinetica dei prodotti di reazione

Possibile usarla per riscaldare un mezzo

Fissione

Esempio di reazione di fissione

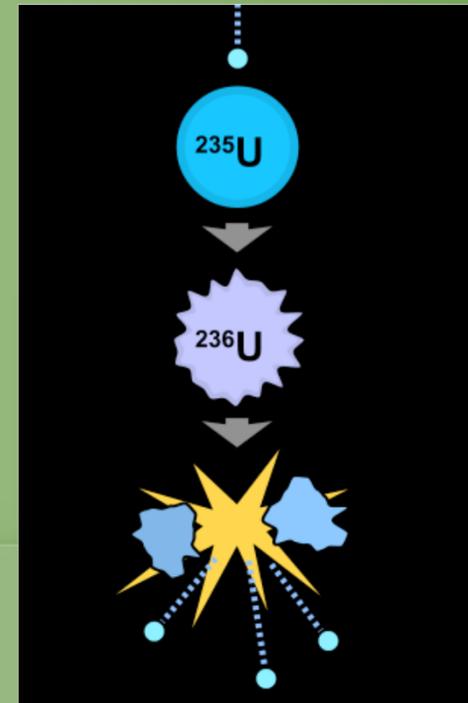


Attivazione:

Varie possibilita', piu' tipica:

Neutroni lenti su nuclei di U^{235}

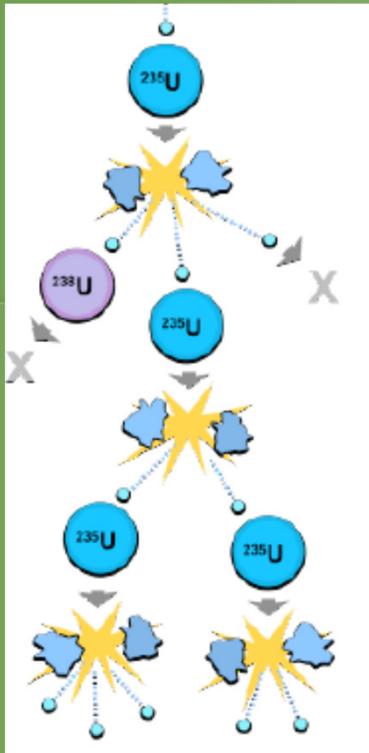
Isotopo fissile (0.71% dell'uranio naturale)



Reazione a catena

Szilard, Fermi (anni '30):

La fissione indotta da neutroni puo' innescare una *reazione a catena*



Moltiplicazione del n. di neutroni

Rilascio di **grandi** quantita' di energia:
~ milioni di volte quella rilasciata
nella combustione

Richiede: Isotopo U^{235} , neutroni *lenti*

Arricchimento

Necessita' di aumentare la frazione di U235 nel materiale fissile per garantire la reazione a catena

Diversi metodi per arricchimento dell'uranio

Tutti basati sulla differenza di massa fra i 2 isotopi

Reattori: Arricchimento 3-4%

Armi: Arricchimento > 90%

Moderazione

Necessita' di ridurre l'energia dei neutroni da fissione
(usata per riscaldare qualcosa)

Moderatore: Mezzo contenente nuclei leggeri (es H , D , C , ..) capaci di assorbire efficientemente energia cinetica quando urtati dai neutroni di fissione

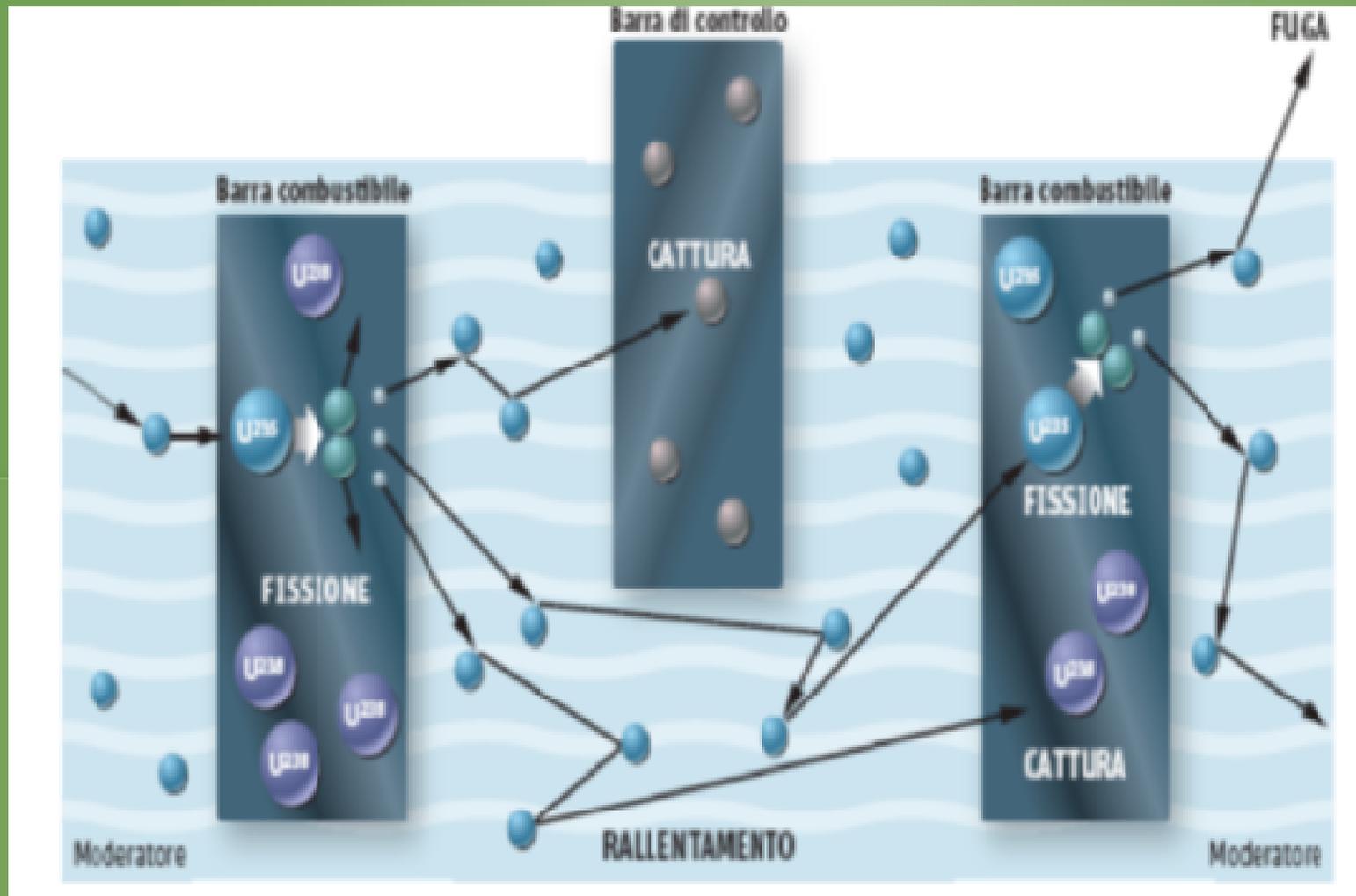
→ H_2O , D_2O , *grafite*, ...

I neutroni rallentano e il mezzo si riscalda

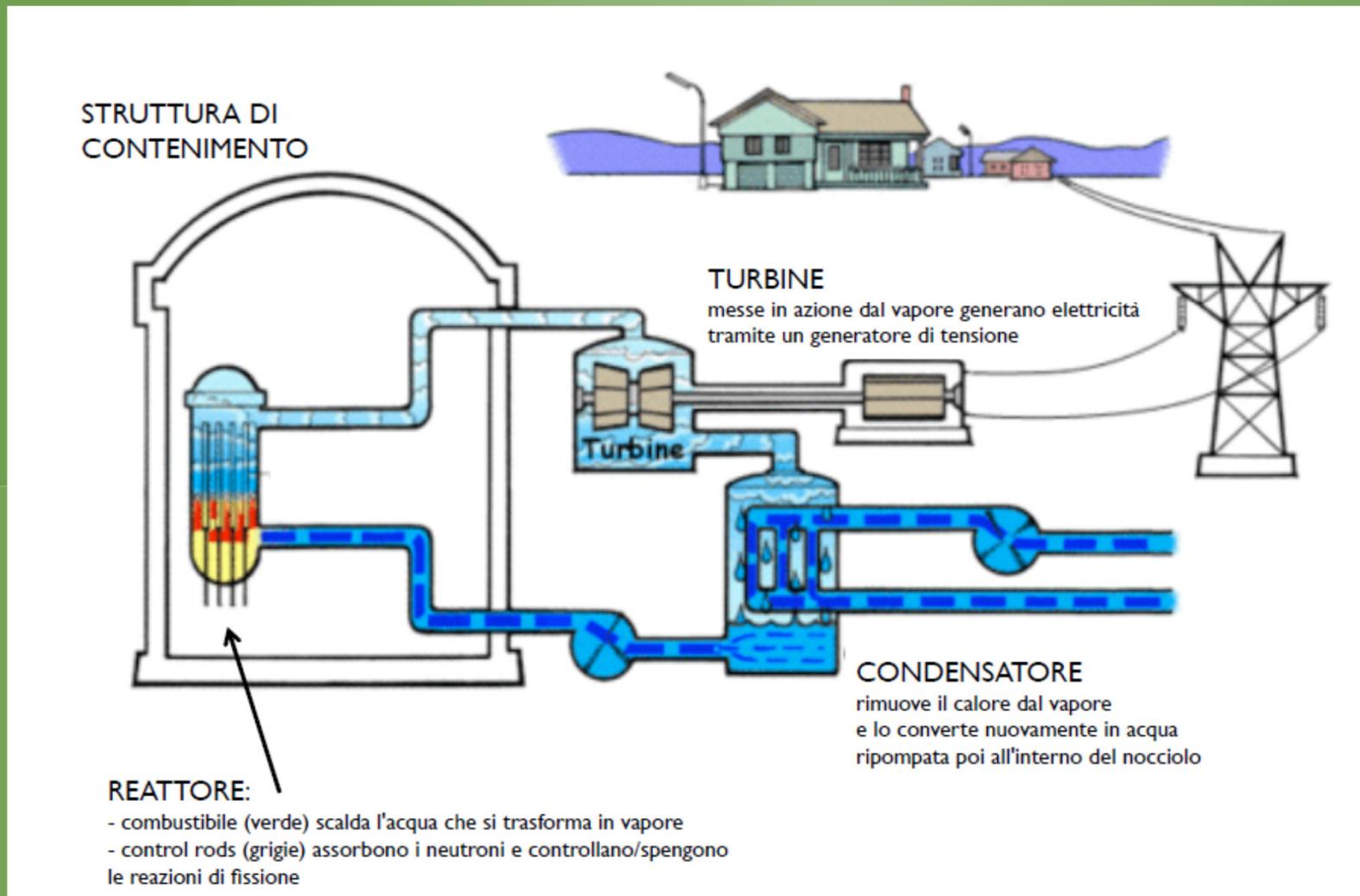
Barra di controllo: Mezzo fortemente assorbente (es Cd)

Quando inserita, assorbe n riducendo il rateo di reazione

Funzionamento



Impianto reattore a fissione



Fusione

Esempio di reazione di fusione:



Interazione forte \rightarrow Corto raggio

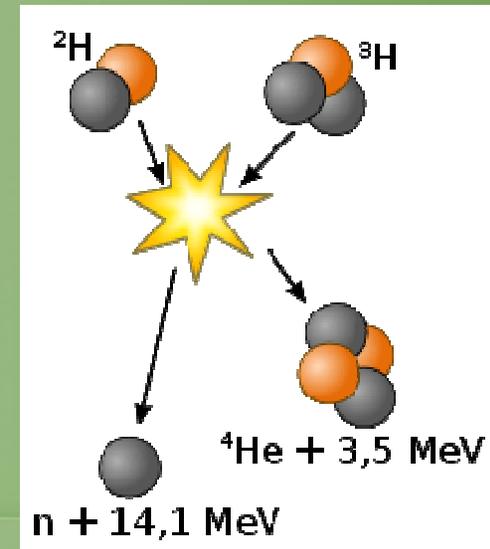
Attivazione:

En. cinetiche elevate per i nuclei

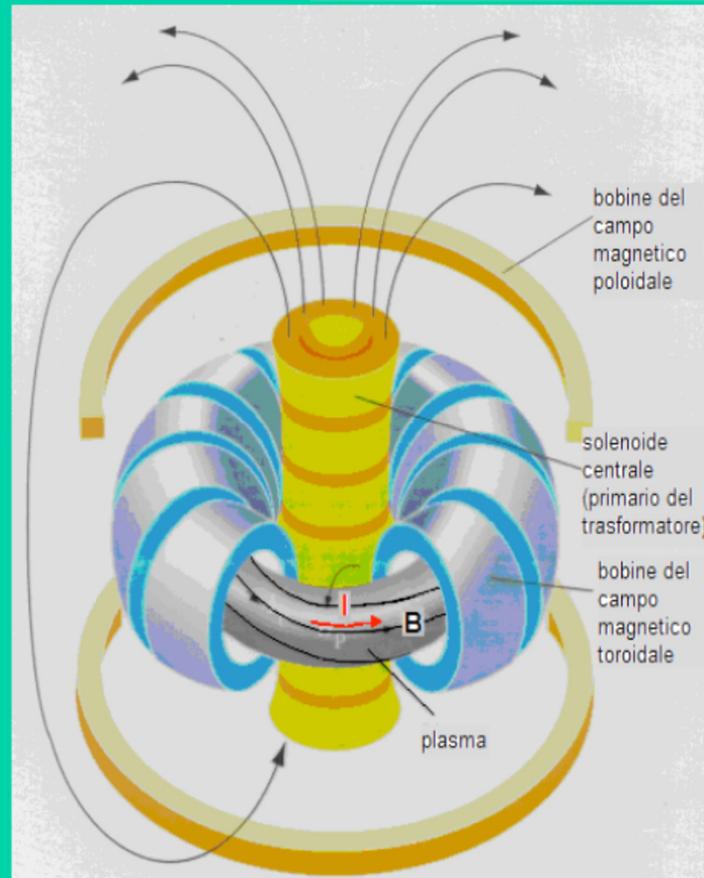
(superare la repulsione elettrostatica fra cariche +ve)

\rightarrow Temperature elevate (decine di milioni di gradi)

\rightarrow Problemi di contenimento

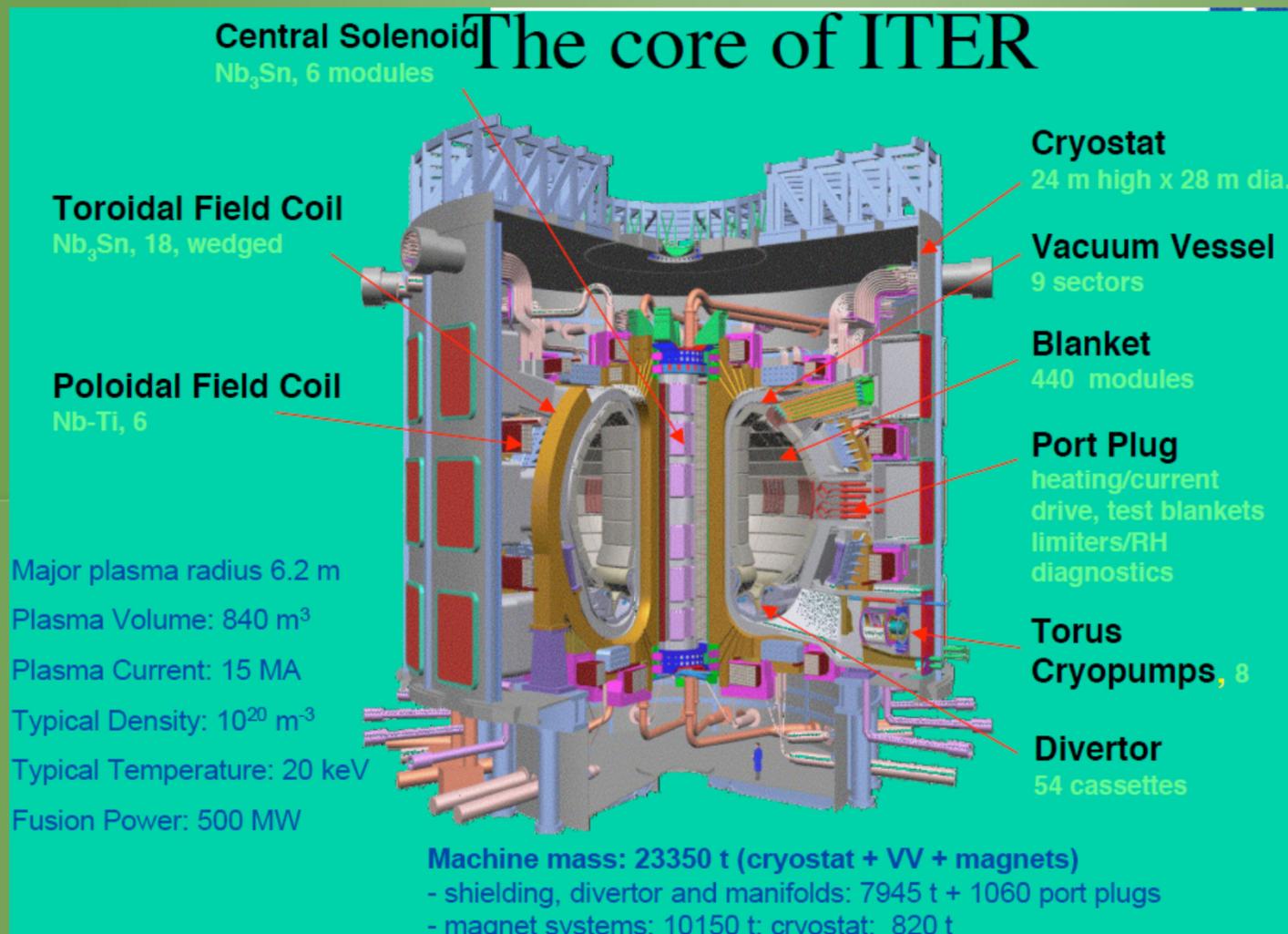


Schema funzionamento



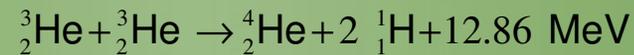
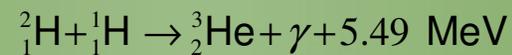
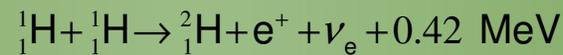
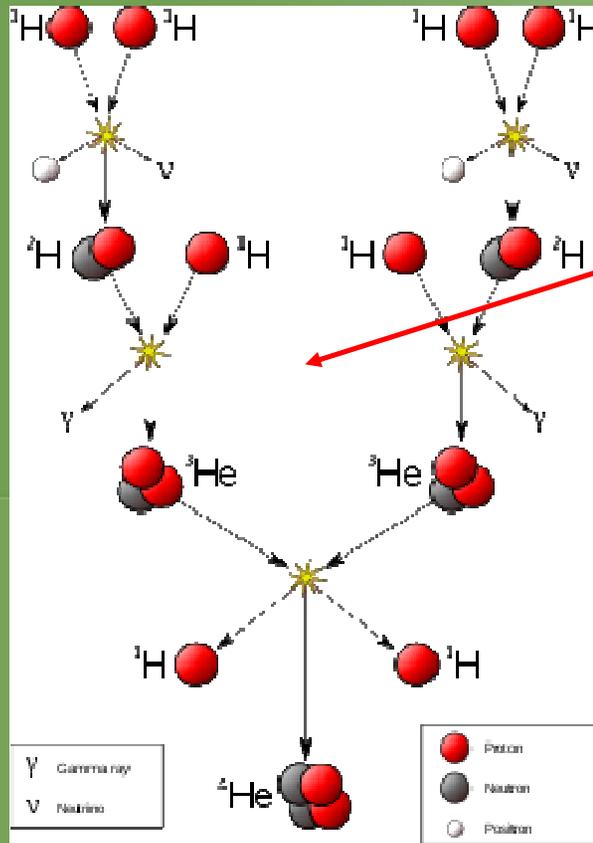
- La componente toroidale del campo magnetico è prodotta da bobine avvolte attorno all'anello di plasma.
- Il solenoide centrale induce una corrente che genera il plasma (*breakdown*) e lo scalda.
- Altre bobine controllano la posizione del plasma.

ITER (EU - Cadarache, F)

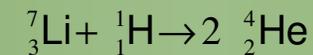
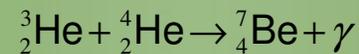


Reazioni nucleari nelle stelle

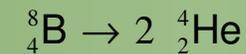
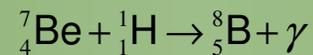
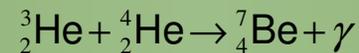
Ciclo dell'idrogeno



oppure



oppure



e altre ancora

Reazioni di fusione nel Sole

Ciclo dell'idrogeno: Energia rilasciata 27.73 MeV

