Il nucleare: alternativa per il futuro?

Cercherò di rispondere alle seguenti domande:

- Quali sono i principali metodi di produzione dell'energia?
- Che cosa è il "nucleare"?
- Il nucleare può essere un'alternativa?

roberto spighi, INFN Bologna, spighi@bo.infn.it

Il problema energetico

Oggi si ha sempre più bisogno di energia:

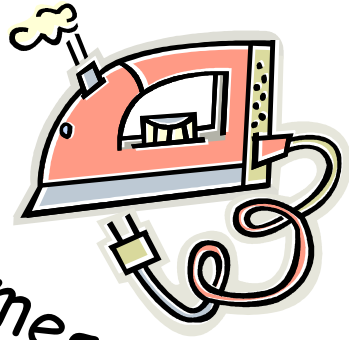
computer

Macchine per l'industria

riscaldamento

automobile

elettrodomestici



ogni italiano all' anno consuma **4 Tep**

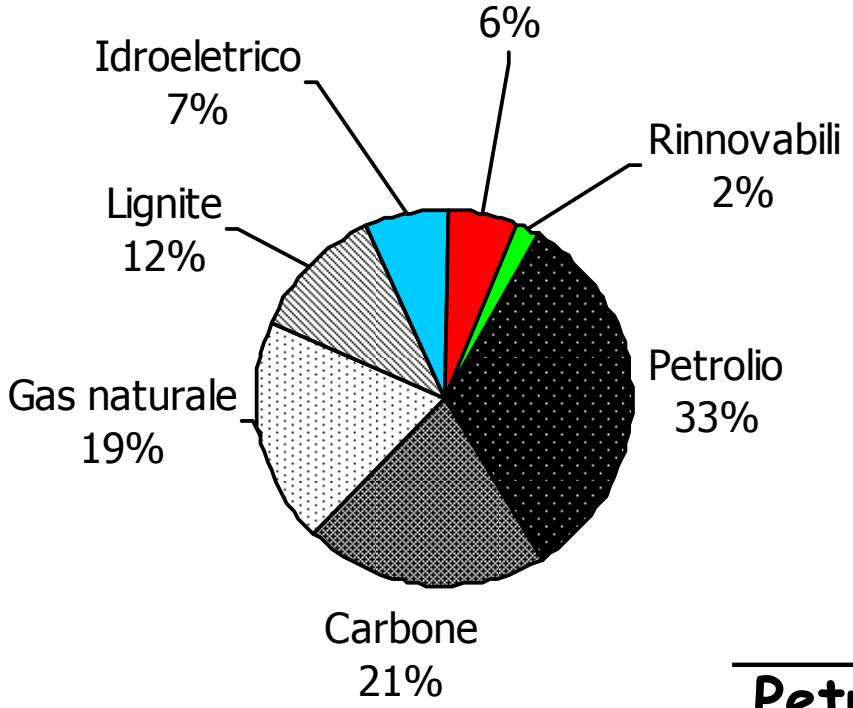
Consumo mondiale: **10 GTep/anno**

1 Tep (Tonellate di petrolio equivalente) = 11700 kWh

Principali fonti energetiche

Nel Mondo

Produzione dell'energia



Combustibili fossili

Nel mondo → 85%

In Italia → 94%

Durata delle risorse (in anni) ai ritmi attuali di consumo

Petrolio	**40**
Gas	**50**
Carbone	**200**
Lignite	**300**
Uranio	**200**
Uranio in surgeneratori	**10 000**
Uranio e torio in surgeneratori	**~ infinito**

(Organisation for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency (2003)

Combustibili fossili

Derivano dalla trasformazione della materia organica

Petrolio Carbone Gas Naturale Lignite

PRO:
- sono compatti
- costano poco

facilmente trasportabili e stoccabili (anche se sono successi incidenti di trasporto)

Fonte	Costo indicativo (c€/kWh)
Solare fotovoltaico	50
Solare termico	12
Biomassa	8
Geotermico	7
Eolico	6
Fossile	6
Nucleare	5
Idroelettrico	2.5

Combustibili fossili (2)

CONTRO:

- non sono rinnovabili
- emissione CO_2 e metano (perdita 5-30% nel trasporto)

Risorse per ~ 50 anni (il doppio se si sfruttano giacimenti negli oceani

Costosi (~10 volte) ed ecologicamente rischiosi

Maggiori imputati del riscaldamento della terra (effetto serra)

?

Aumento di CO_2 del 25%

?

Normale fase climatica

CENTRALE a CARBONE da 1 GW produce 4 milioni di T di ceneri all'anno

Nel mondo 23 miliardi di T/anno

Il nucleare ci può aiutare?

MA CHE COSA E' QUESTO "NUCLEARE"?

Primo uso del nucleare

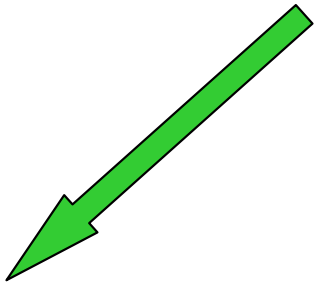
6 agosto 1945 ad Hiroshima fu sganciata la prima bomba atomica

L'esplosione rase al suolo un'area di oltre 10 km^2 e uccise circa 130.000 persone.

Il disastro di Chernobyl

Che cos'è il "Nucleare"?

NUCLEARE → NUCLEO

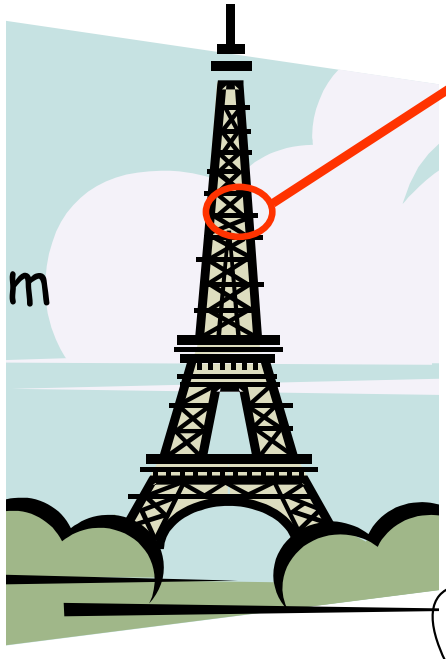


ANDARE nell'infinitamente piccolo
CAPIRE come sono composti tutti gli oggetti che ci circondano

Il mondo che ci circonda

Torre Eiffel

300 m



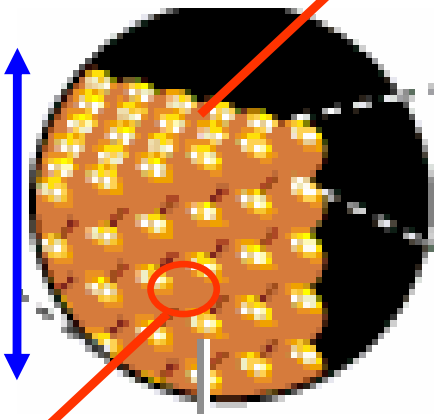
ferro

1 m

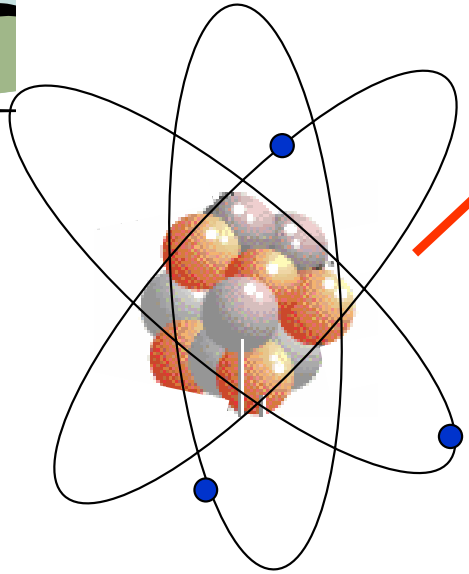
Limatura di ferro

1 mm

~0.1 μm
(0.1 milionesimo
di metro)



Struttura ordinata
di tante "palline"



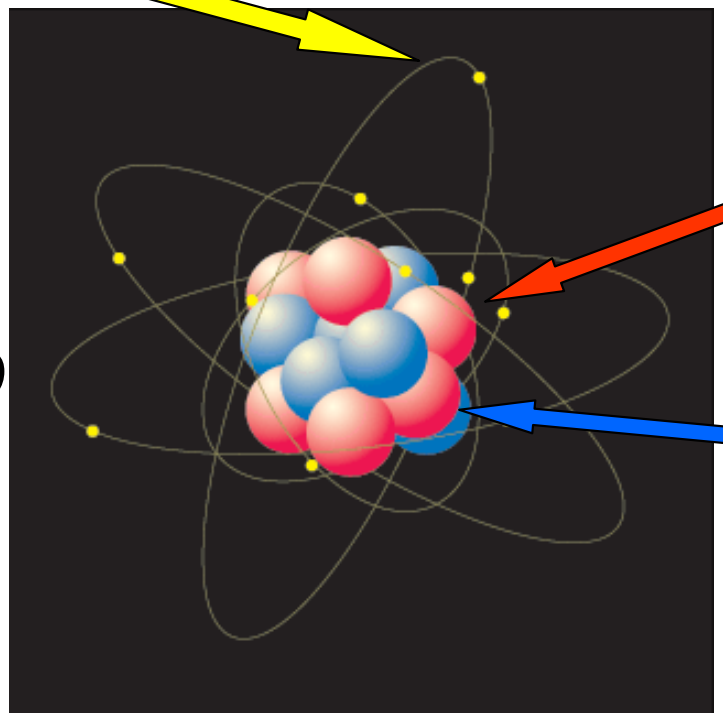
atomo

10^{-10} m
(0.1 miliardesimo
di metro)

L'atomo

Tutta la materia che ci circonda è fatta da atomi

ELETTRONI → **cariche −** (→ elettricità)



NUCLEO
10^{-14} m

PROTONI → particelle **+**

NEUTRONI → particelle neutre

numero dei protoni = elettroni → ATOMO è **NEUTRO**

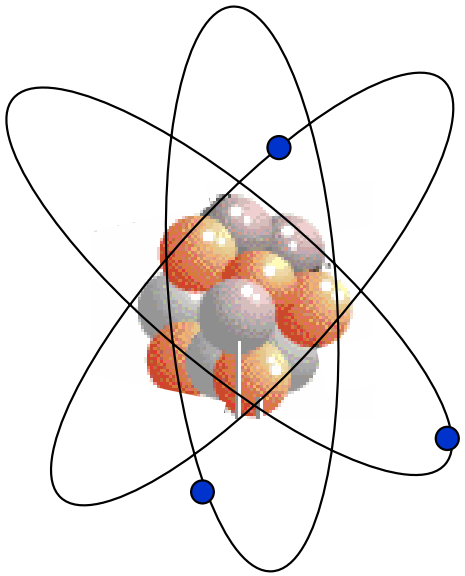
Ferro ha 26 p, 30 n e 26 el
Oro ha 79 p, 112 n e 79 el

filmato atomo

Le forze in gioco

ELETTRONI sono legati al nucleo per la **FORZA ELETTRICA**

cariche opposte si attraggono



ma **PROTONI** e **NEUTRONI** come fanno a stare insieme?
Anzi i **PROTONI** tra loro dovrebbero respingersi

ESISTE UNA FORZA MOLTO "POTENTE" CHE TIENE INSIEME PROTONI E NEUTRONI NEL NUCLEO

FORZA FORTE

Le forze in gioco (2)

FORZA FORTE ~ 100 volte più > **ELETTRICA**, ma a corto raggio

Si può togliere una parte di energia dal nucleo ed usarla?

SI

SPACCANDO I NUCLEI GROSSI

UNENDO NUCLEI PICCOLI

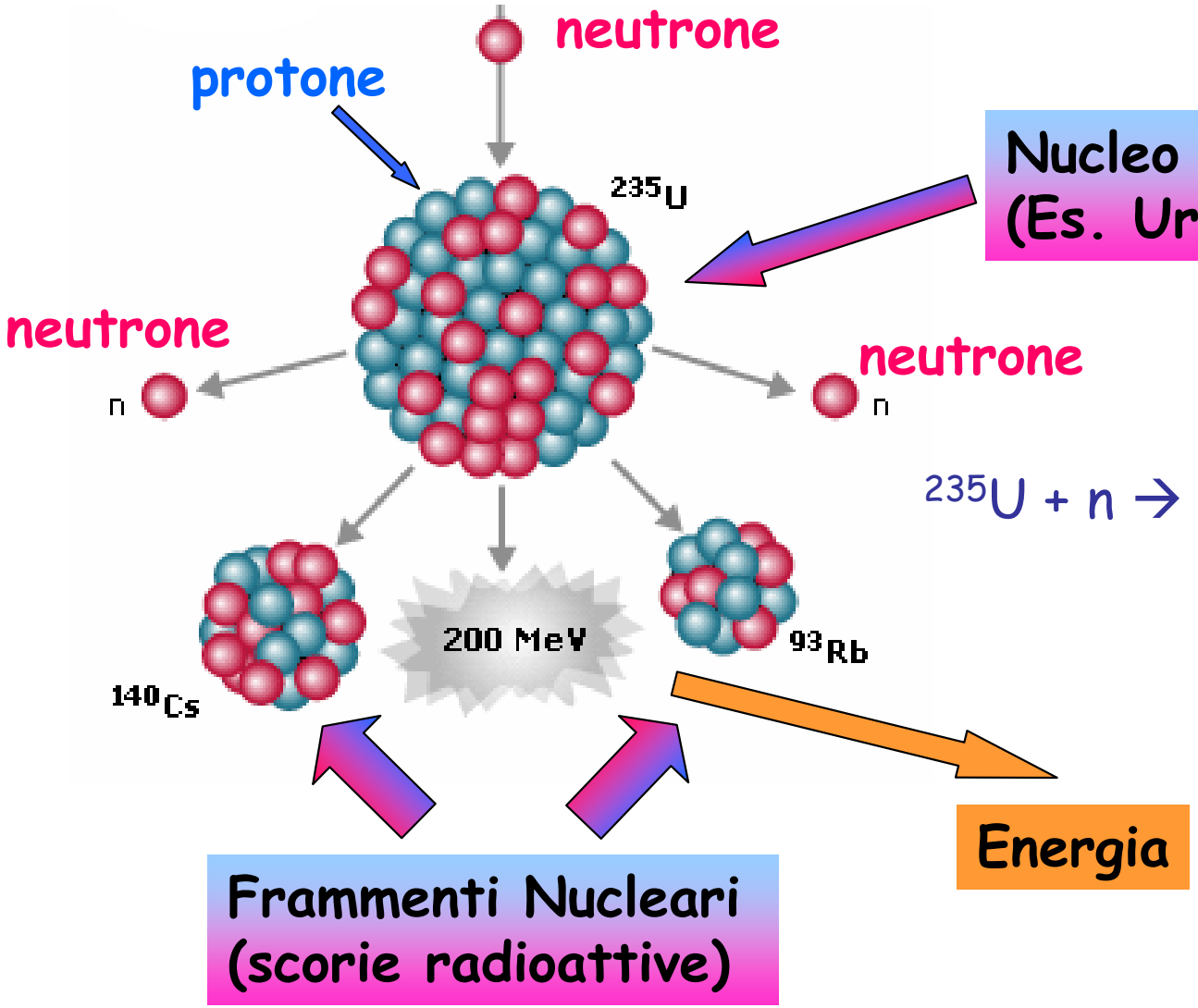
FISSIONE NUCLEARE

FUSIONE NUCLEARE

La fissione nucleare

MA COME SI FA A SPACCARE UN NUCLEO?

BOMBARDANDOLO AD ES. CON DEI NEUTRONI



Nucleo Originale (Es. Uranio)

$^{235}U + n \rightarrow {}^{140}Cs + {}^{93}Rb + 2n + \text{energia}$

(tipica reazione a catena di un reattore)

Energia

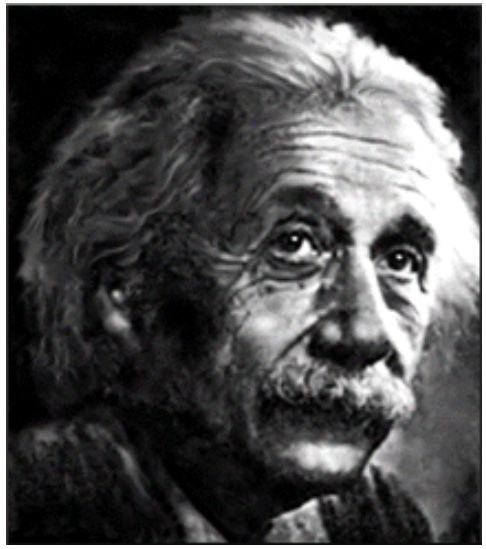
Frammenti Nucleari (scorie radioattive)

filmato fissione

Energia nucleare

MA PERCHE' VIENE EMESSA DELL'ENERGIA?

1879-1955 (nobel 1921)



QUI CI AIUTA EINSTEIN

$$E = MC^2$$

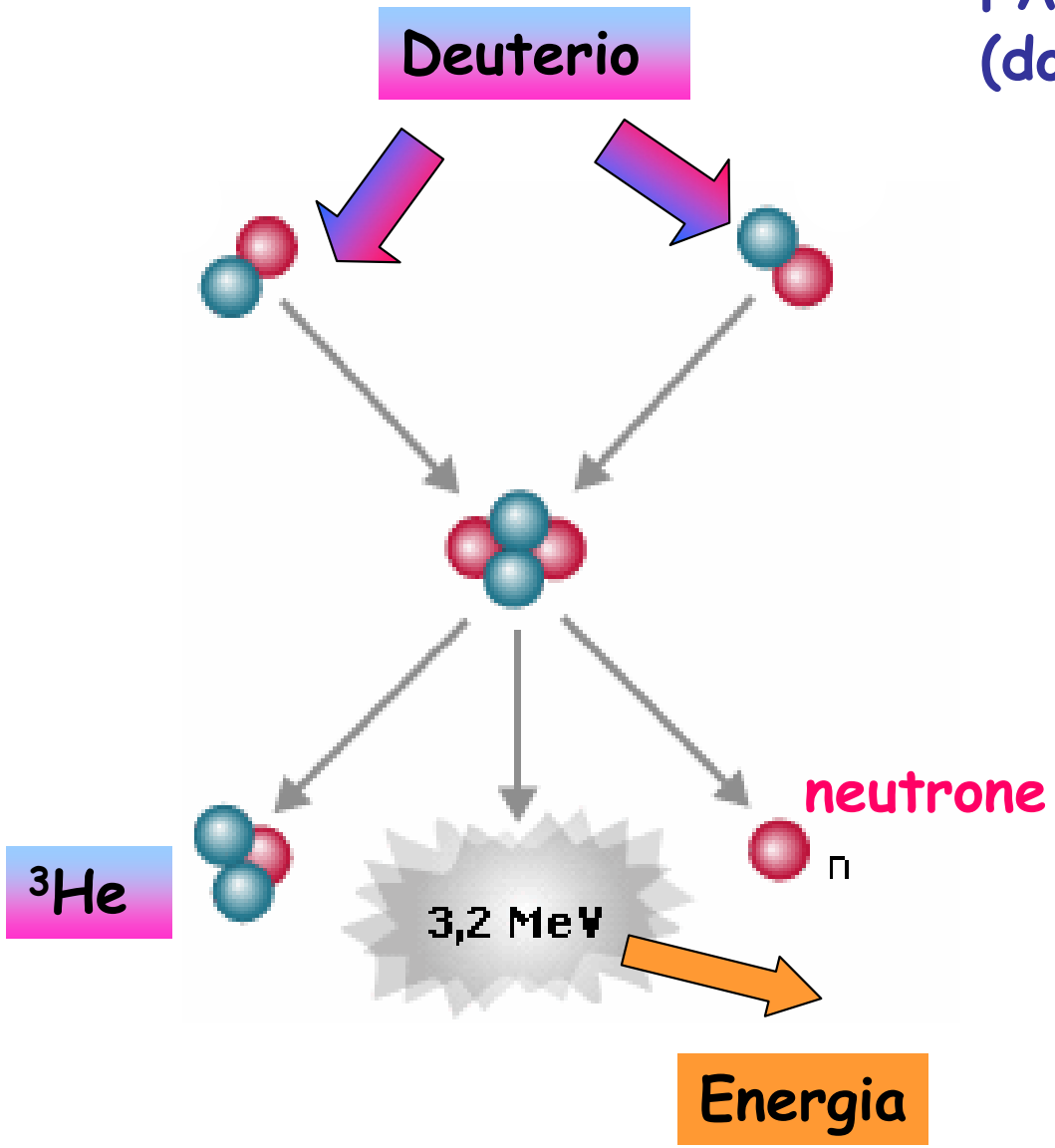
NEL MONDO MICROSCOPICO L'ENERGIA SI TRASFORMA IN MASSA E VICEVERSA

DOPO LA FISSIONE I PRODOTTI FINALI "PESANO" MENO DI QUELLI INIZIALI → SI E' PERSA DELLA MASSA → SI E' PRODOTTA DELL'ENERGIA

La fusione nucleare

MA COME SI FA A UNIRE DUE NUCLEI?

FACENDOLI AVVICINARE MOLTO
(dove agisce la forza forte)



$^2H + {}^2H \rightarrow {}^3He + n + \text{energia}$

filmato fissione fusione

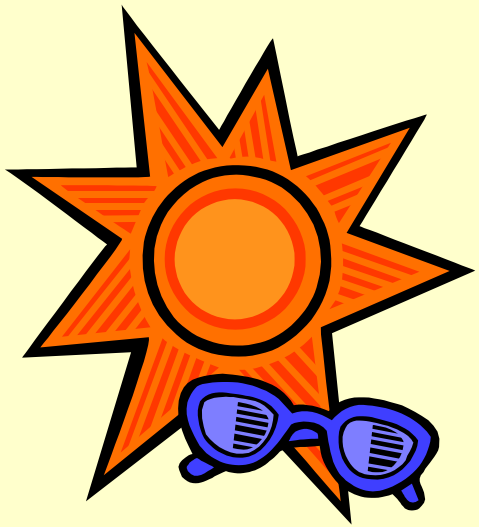
Produzione di energia nucleare

Un reattore nucleare è una "macchina" che provoca la **fissione** dei nuclei

Perché non la fusione?

Perché è difficile far avvicinare i nuclei (forze repulsive)

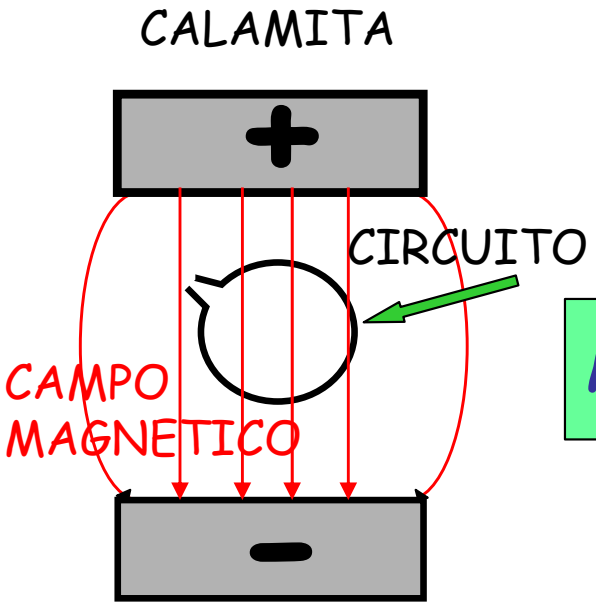
Anche nella fisica è più facile distruggere che costruire



FUSIONE
DENSITA' 150 T/m3
TEMPERATURA 15 M °C

La produzione dell'elettricità

L'elettricità si produce muovendo un circuito (filo di metallo) in un campo magnetico (una calamita)

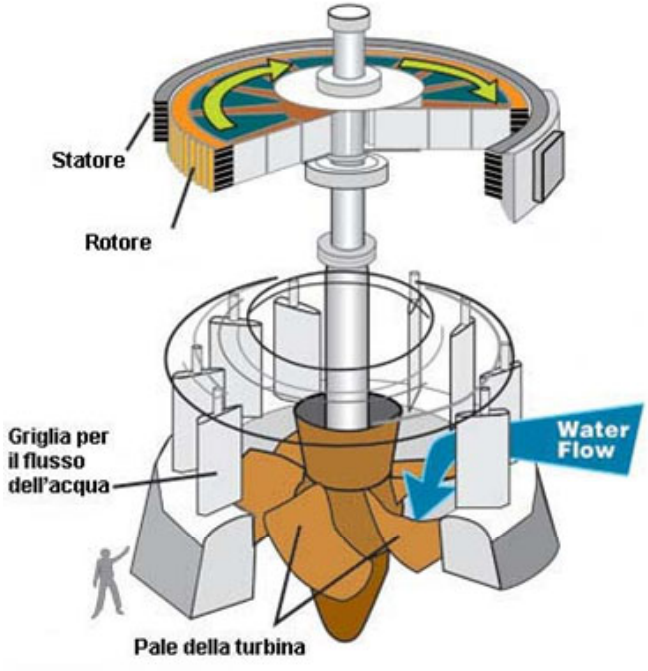


MOVIMENTO

ACQUA

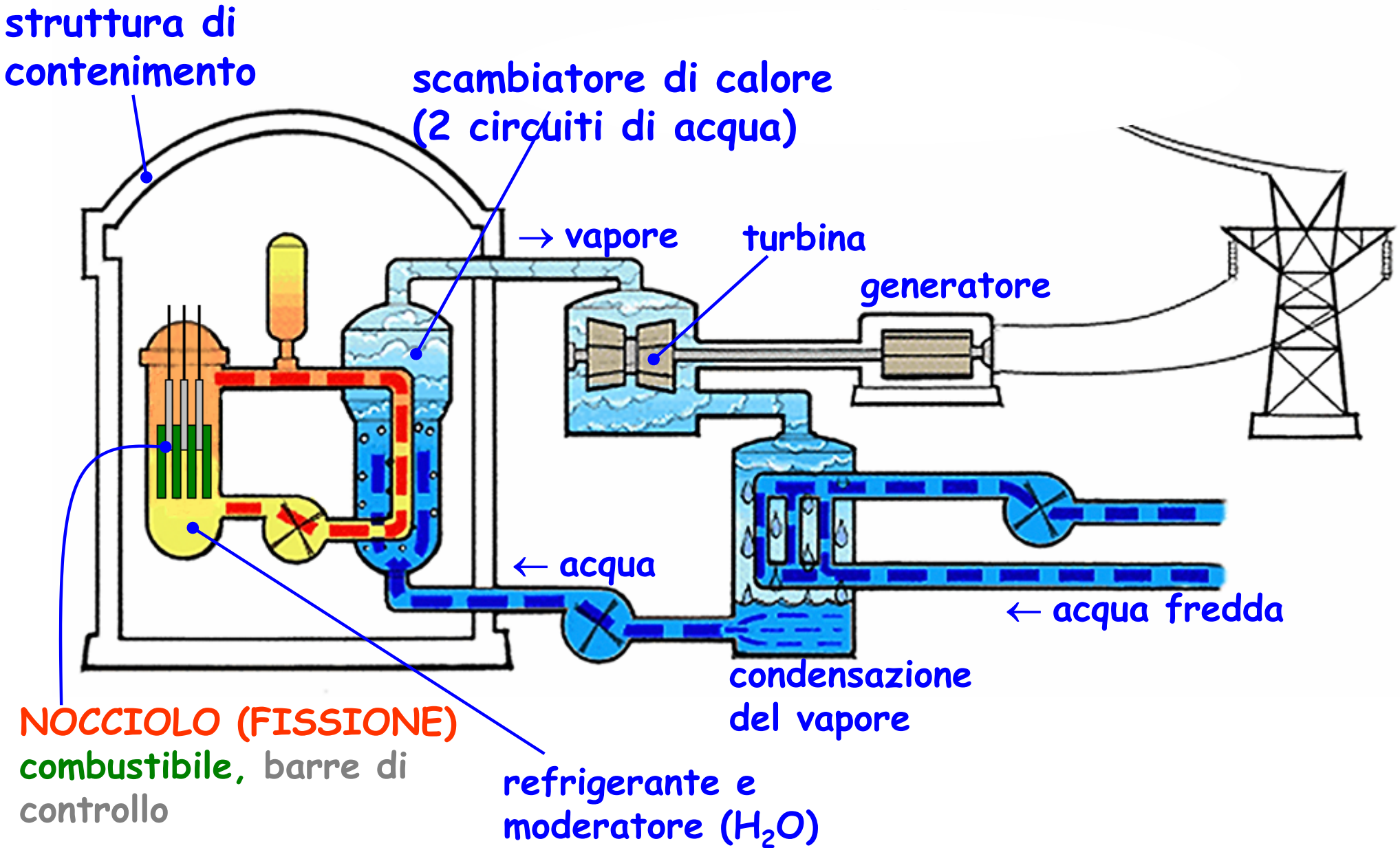
VAPORE

Turbina idroelettrica



motore a scoppio

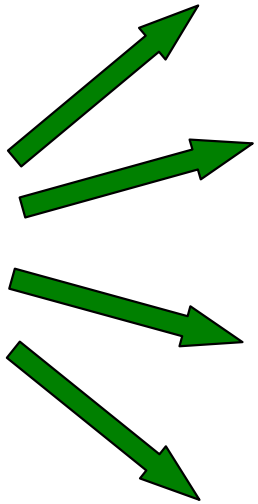
Reattore nucleare a fissione



DIFFERENZA TRA LE VARIE CENTRALI E' COME SCALDARE L'ACQUA

Efficacia energetica dell'uranio

1 Kg di Uranio produce la stessa energia di



15 T di petrolio

22 T di carbone

45 T di legno

14 T di gas naturale

SITUAZIONE MONDIALE: 441 reattori in funzione (metà in Europa)

: 17% elettricità dal nucleare (35% in europa)

Reattore/bomba atomica

NEL **REATTORE** OGNI FISSIONE NE INDUCE IN MEDIA UN'ALTRA

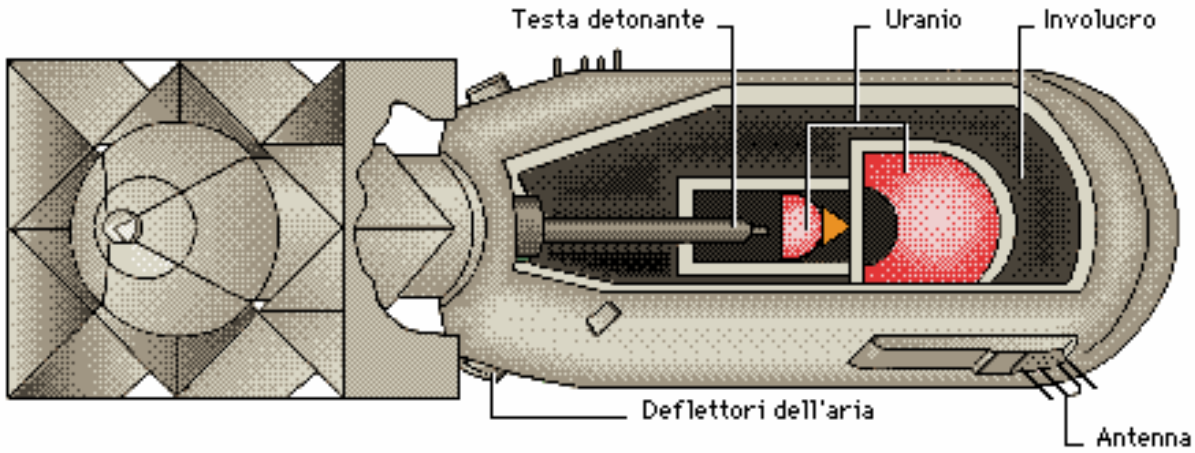
GESTITO DALLE **BARRE DI CONTROLLO**

ENERGIA ESTRATTA POCO ALLA VOLTA

BOMBA ATOMICA

- CONTENITORE CON MOLTO URANIO → REAZIONE A CATENA
- SENZA MECCANISMO DI CONTROLLO (OVVIO!!)

TUTTA L'ENERGIA ESCE ISTANTANEAMENTE

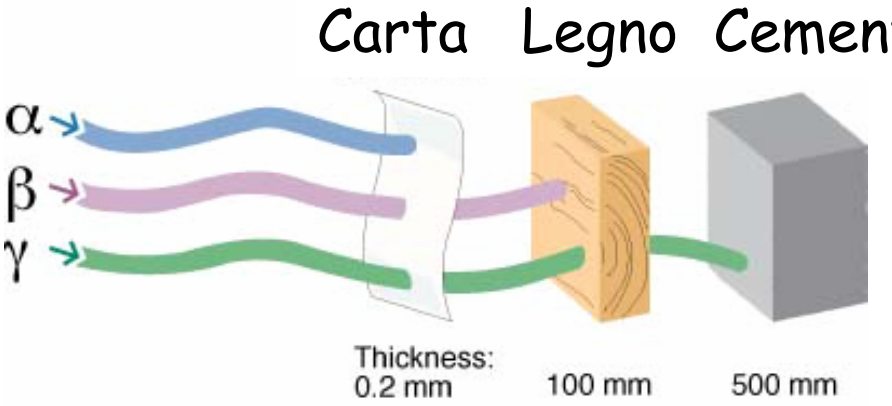


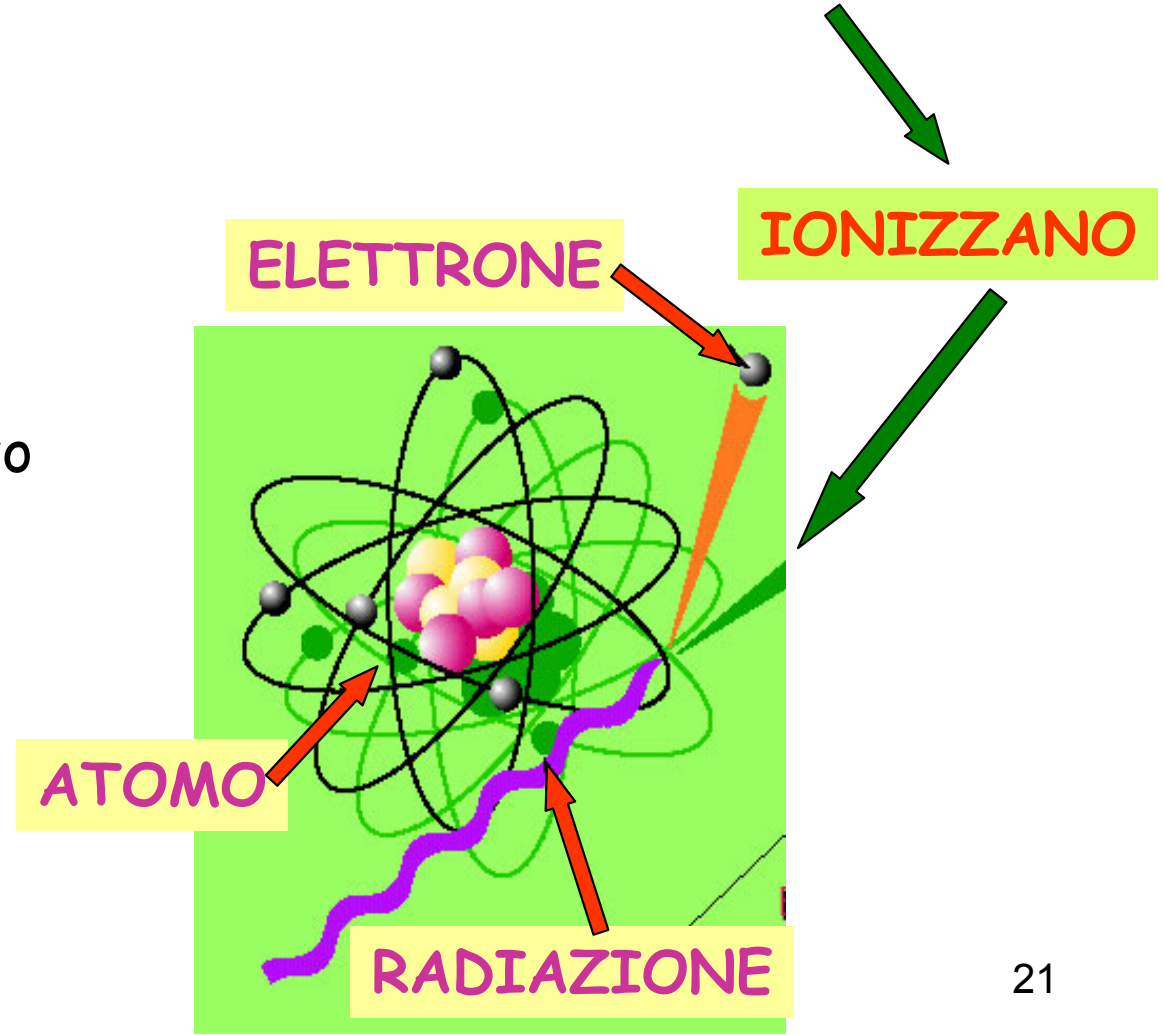
Radioattività

I MATERIALI USATI PER LA FISSIONE (URANIO …) E LE **SCORIE** PRODOTTE SONO **RADIOATTIVE**

ATOMO INSTABILE → SI TRASFORMA E EMETTE **ONDE** O **MATERIA**

RADIAZIONI PIU' O MENO PENETRANTI E PIU O MENO PERICOLOSE





Danni da radiazioni

GLI ATOMI COLPITI DA RADIAZIONI SONO INSTABILI PERCHE' NON PIU' NEUTRI

→

COMINCIANO A COMBATTERE CON GLI ALTRI ATOMI PER RIAPPROPRIARSI DI UN ELETTRONE

→

MECCANISMO A CATENA

→ ?

MUTAMENTI NELLE MOLECOLE

→ ?

DISTRUGGERE O ALTERARE LE CELLULE (CANCRO – DANNO GENETICO)

Chernobyl

26 APRILE 1986, ore 01:23:47 REATTORE ESPLOSE (**IMPIANTO DI CONTENIMENTO PARZIALE**)

TEST → TURBINE SENZA SISTEMI DI CONTROLLO (**ERRORE UMANO**)

SURRISCALDAMENTO → BARRE DI CONTROLLO (GRAFITE) NON RIENTRARONO (**PROBLEMA DI QUEL TIPO DI REATTORE**)

SILENZIO PER 2 GIORNI → RADIAZIONE 100 VOLTE HIROSHIMA (**CATTIVERIA**)

31 MORTI SUBITO E 27 NEI SUCCESSIVI 20 ANNI

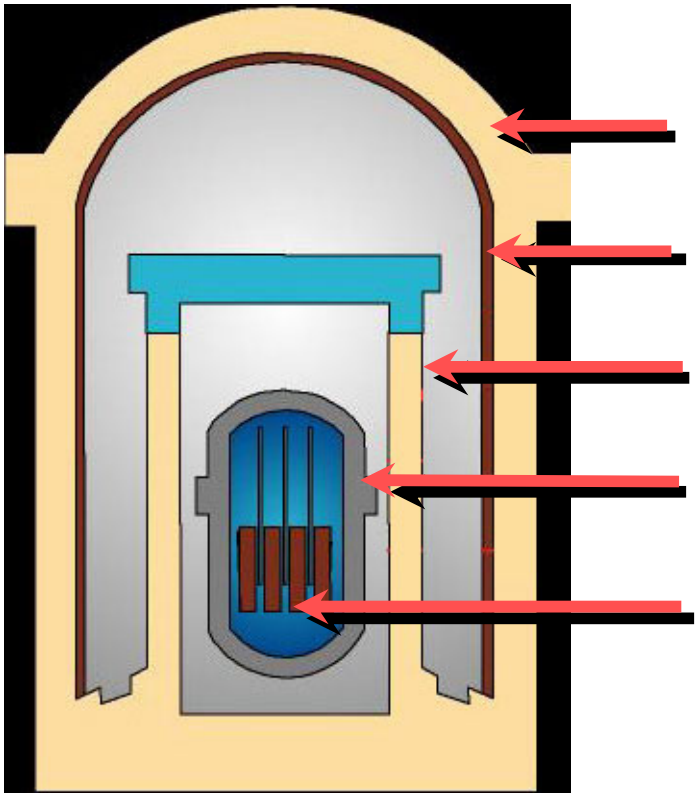
1800 (4000-9000?) BAMBINI (0-14) CON CANCRO ALLA TIROIDE, LEUCEMIE E DANNI GENETICI

Three Mile Island (USA,28/3/78) → fusione del nocciolo → radioattività limitata per presenza dell'edificio di contenimento secondario → no danni

Reattori in funzione oggi

Monitor sofisticati per la prevenzione degli incidenti

Barriere multiple di sicurezza



~ 1 m cemento armato

~ 1 cm rivestimento di acciaio

~ 1 m cemento di schermo

~ 20 cm acciaio del recipiente in pressione

elementi di combustibile

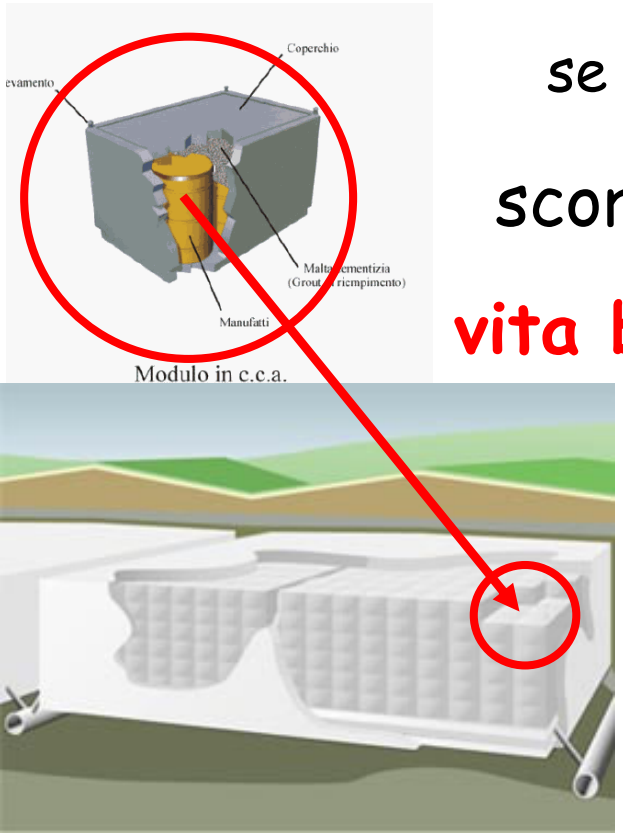
requisiti di sicurezza superiori a quelli di tutte le attività industriali (rischio < 1% delle altre attività)

Scorie radioattive

FRANCIA: scorie 1gr/anno/abitante → 60 T/anno (6-30 m^3)

se uso fossile ~ T/anno/persona di ceneri (vita ∞)

scorie divise in piccole quantità e vetrificate



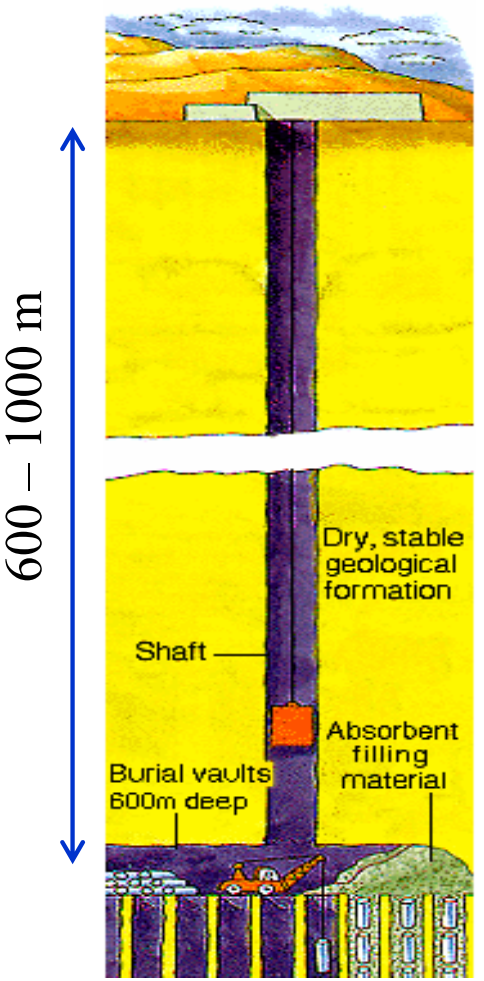
vita breve o a bassa attività

Isolamento ~300 anni
in superficie o sotto

filmato scorie bassa attività

Rifiuti a vita lunga o ad alta attività

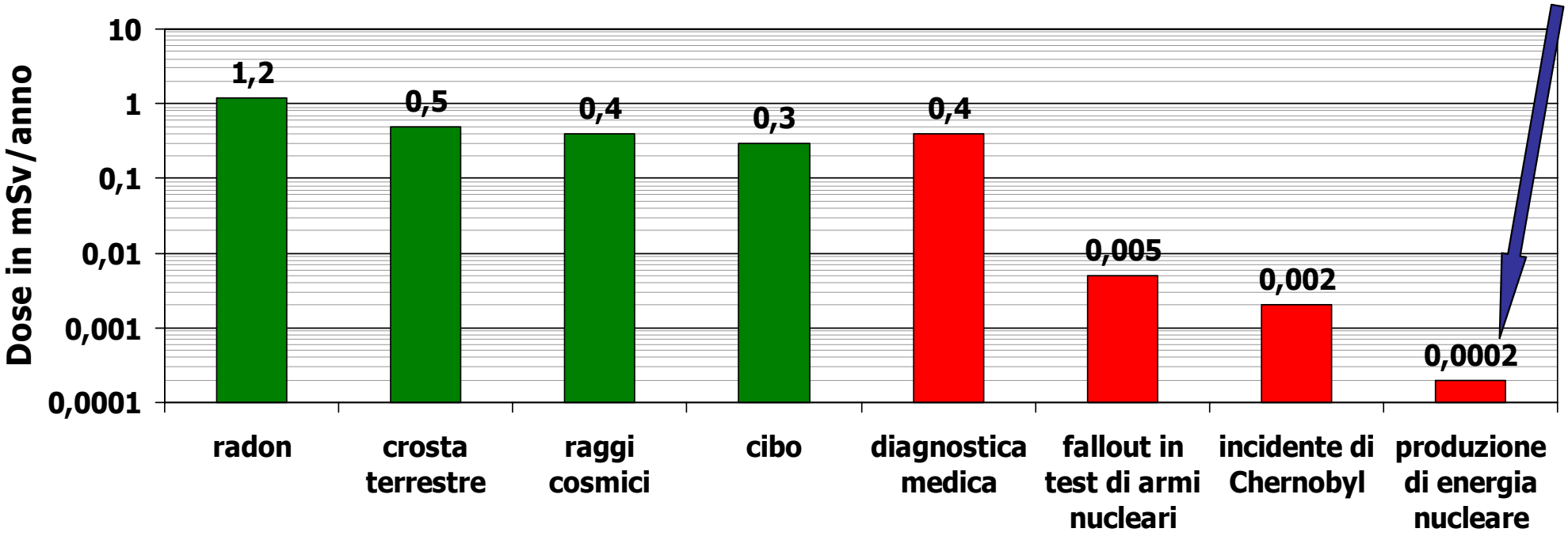
Isolamento per migliaia di anni in profondità (600-1000 m) in formazioni geologiche stabili



filmato scorie alta intensità

Radiazione in condizioni normali

6000 VOLTE MINORE



dosi individuali dovute all'energia nucleare: << 1 mSv/anno

dosi individuali tipiche da sorgenti naturali: 2-3 mSv/anno

IN CONDIZIONI NORMALI LA RADIAZIONE DA SCORIE E' TRASCURABILE

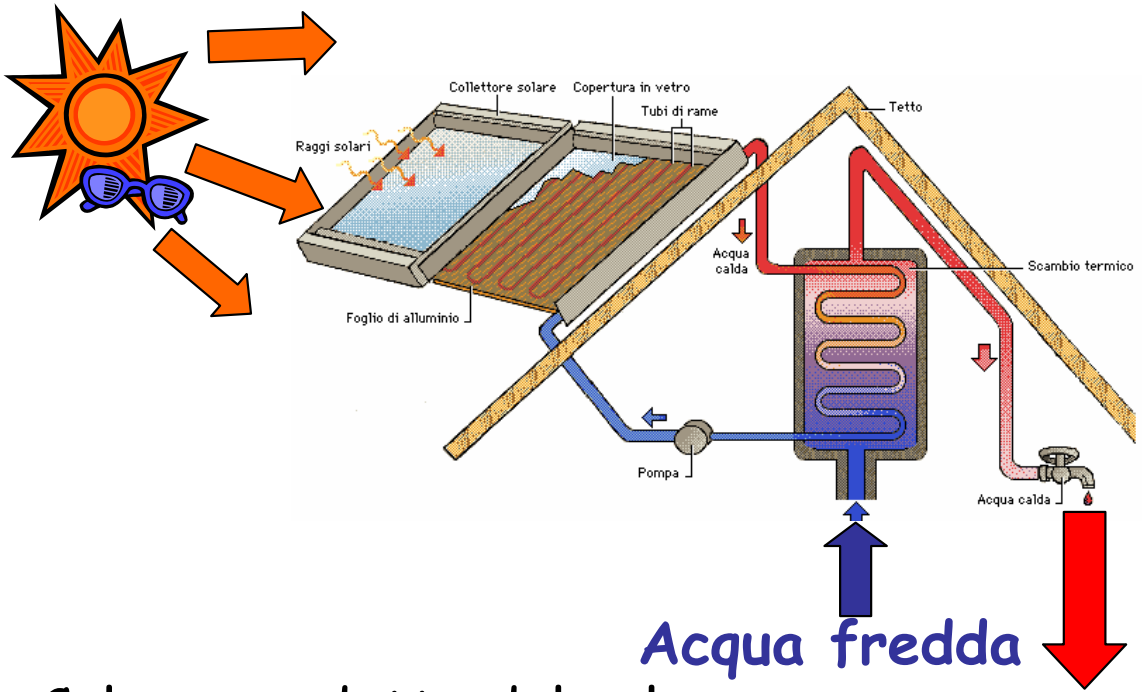
Energie alternative

METODI DIVERSI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA

Energia solare

2 TECNICHE

Pannello solare: luce → calore

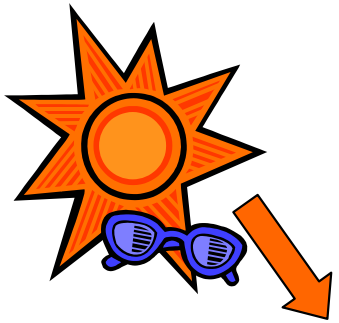


Acqua fredda

acqua calda

Calore prodotto dal sole penetra la superficie e scalda la serpentina

Pannello fotovoltaico: luce → elettricità



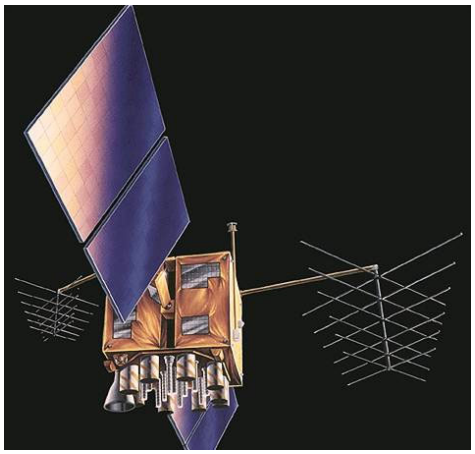
Elettricità

pannello (silicio)

raggio colpisce gli atomi del pannello e libera gli elettroni (eletticità)

Energia solare (2)

satellite



PRO:

•Non ha emissioni nocive in aria (tutta pulita?)

CONTRO:

- Energia costosa (10 volte il petrolio)
- Bassa produzione di energia (~ 80 km² di pannelli per 1 GW)
- Energia a intermittenza

Stato ha investito 130 miliardi di lire per impianti fotovoltaici

Un impianto costa ~ 15,000 €, lo stato dà ~ 11,000 (75%)

Circa 5-10 anni per ammortizzare i 4000 € spesi

Il 10001 unesimo si paga tutto da solo

Energia eolica

Vento muove le pale → movimento crea corrente elettrica

4000 aerogeneratori forniscono l'elettricità a tutta Coachella Valley (California).

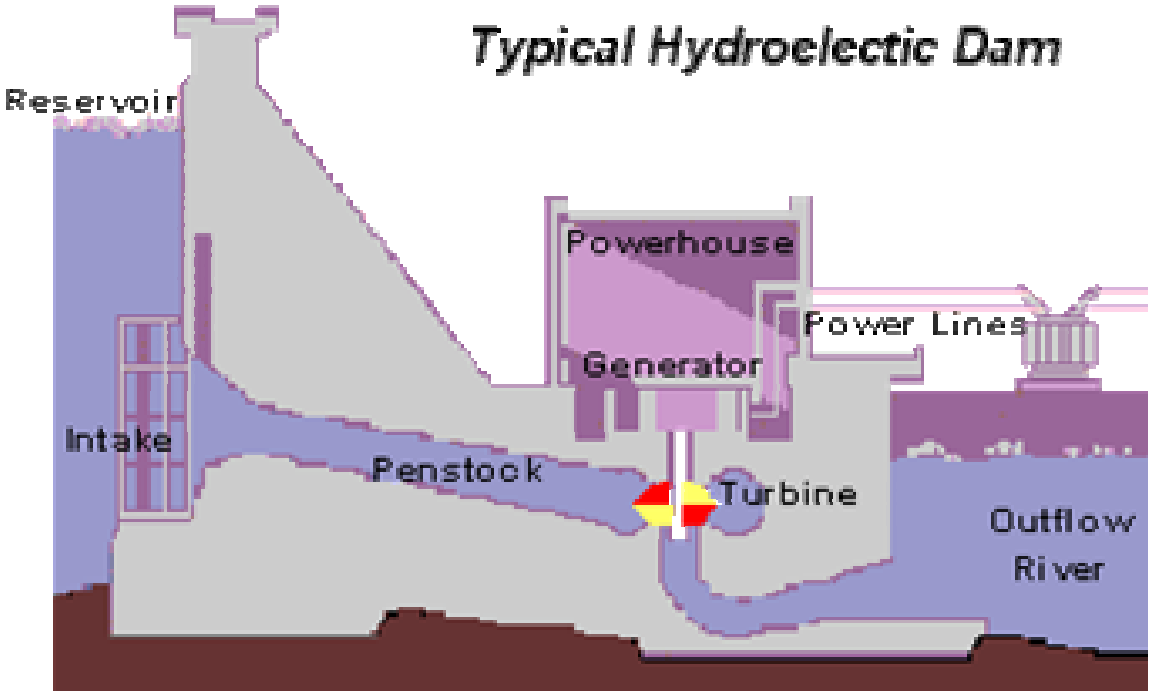
PRO:
- pulita
- economica
- utile in certe realtà (isole)

CONTRO:
- energia a intermittenza
- impatto ambientale (dipende dai gusti, a me piacciono)
- realizzabile solo in regioni ventose (isole)
- bassa produzione di energia (> 4000 pale per 1 GW)

Energia idroelettrica

Dislivello delle acque crea movimento → corrente elettrica

Molto sfruttato, copre il 17% della produzione mondiale di elettricità



Come dislivello si cominciano ad usare anche le maree

PRO:
- pulita
- economica

CONTRO:
- impatto ambientale, fiumi deviati, vegetazioni soppresse, spostamenti della popolazione
- rischi di incidenti (Vajont 9 ottobre 1963, 1910 vittime)

Energia delle biomasse

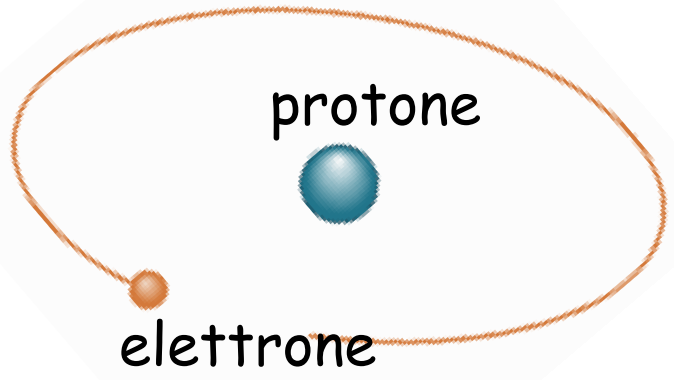
Prodotta per trasformazione di materia organica
- gassificazione di legna, residui agricoli, rifiuti
- oli vegetali (coltivazioni dedicate → biodiesel, bioetanolo)

PRO:
- ridurre l'emissione di CO_2
- economica

CONTRO:
- basso rendimento ~ 3500 km^2 (60x60) per 1 GW
- biodiesel: richiede grandi superfici (acque, pesticidi …)
- emissioni nocive non molto inferiori a quelle del gasolio
- alcune fonti (legno) sono molto inquinanti (pulviscolo)

Idrogeno

E' l'elemento più semplice in natura



Ossigeno

$$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$$

Idrogeno Acqua + calore + elettricità

Molte applicazioni

L'AMERICA STA INVESTENDO MOLTO SULL'IDROGENO

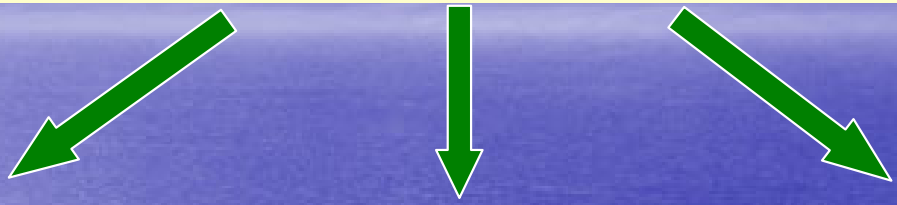
Idrogeno (2)

PRO:
- campo di applicazioni più ampio dei combustibili fossili
- non produce sostanze nocive ma acqua (umidità?)

CONTRO:
- produzione (non esiste libero, ma solo legato, es H_2O)
- difficile da immagazzinare e da trasportare
- costo elevato → ridurre prezzo 10-100 volte per competitività

Conclusioni

ATTUALMENTE LA MAGGIORE FONTE PER L'ENERGIA SONO I MATERIALI FOSSILI



INQUINANO L'ARIA

FINIRANNO

MOTIVO DI SCONTRO

SOLE, VENTO, BIOMASSE, ACQUA SONO COMPLEMENTARI MA DA SOLE NON SONO SUFFICIENTI

IL NUCLEARE PUO' RISOLVERE IL PROBLEMA, MA DEVE ESSERE FATTO BENE

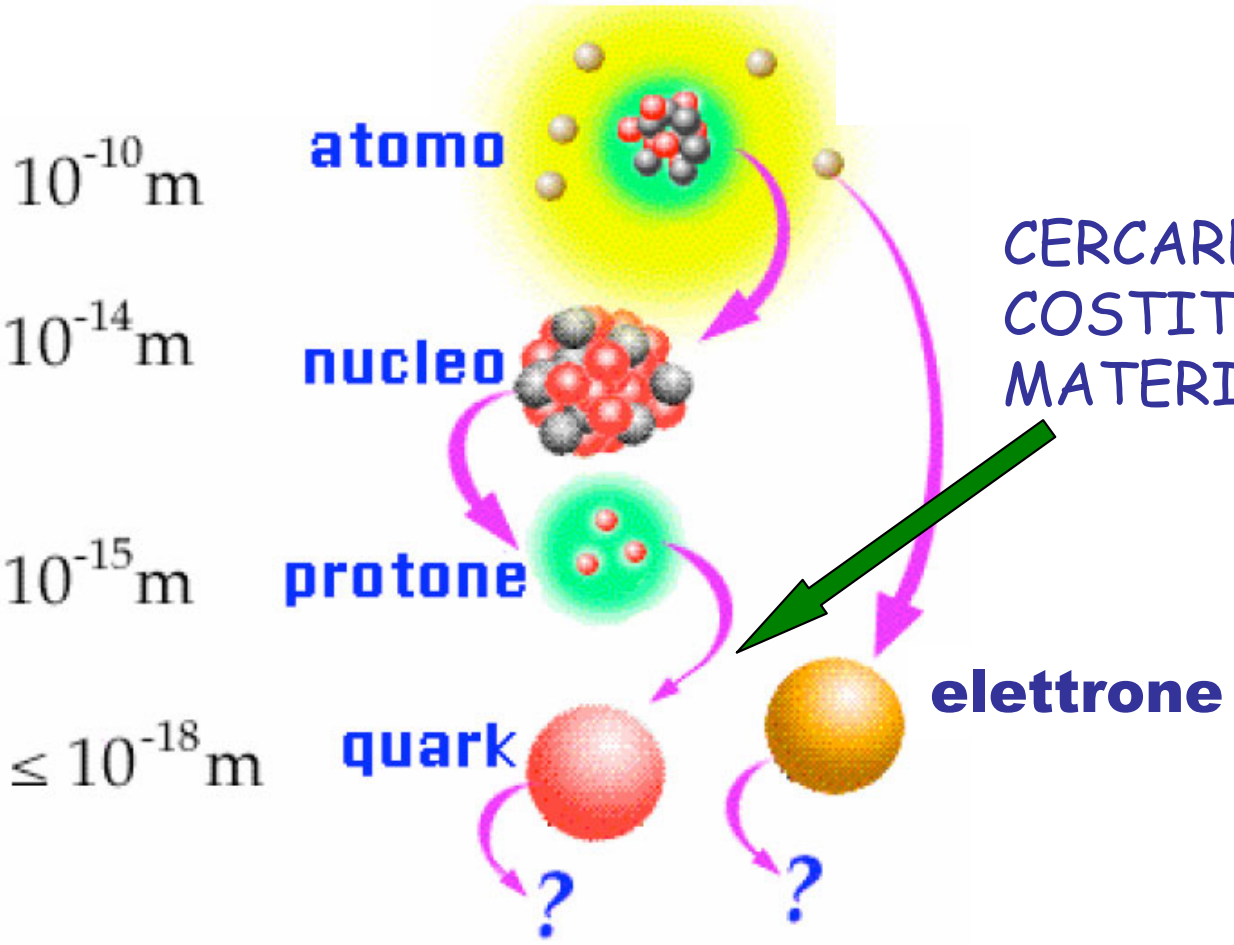
Grazie a tutti, in particolare a Silvia

Domanda

ROBERTO, MA SI PUO' SAPERE CHE LAVORO FAI?

Provo a rispondere

SONO UN FISICO SUB-NUCLEARE (O DELLE PARTICELLE)



CERCARE DI ARRIVARE AI COSTITUENTI ULTIMI DELLA MATERIA

6 DIVERSI TIPI DI QUARK

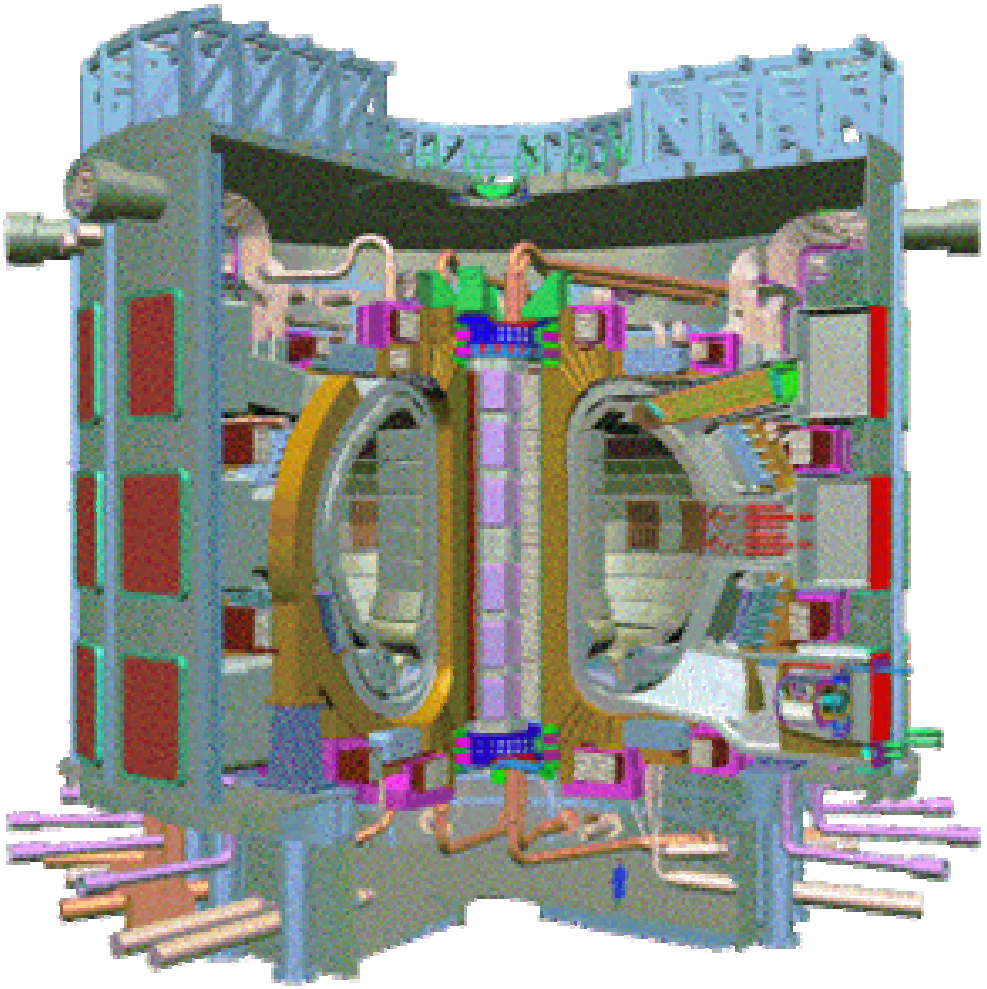
Acceleratori

Il Large Hadron Collider (LHC) al CERN

filmato ATLAS

Evento di ATLAS

Reattori a fusione nucleare



ITER progetto mondiale

Alte temperature → stato di plasma

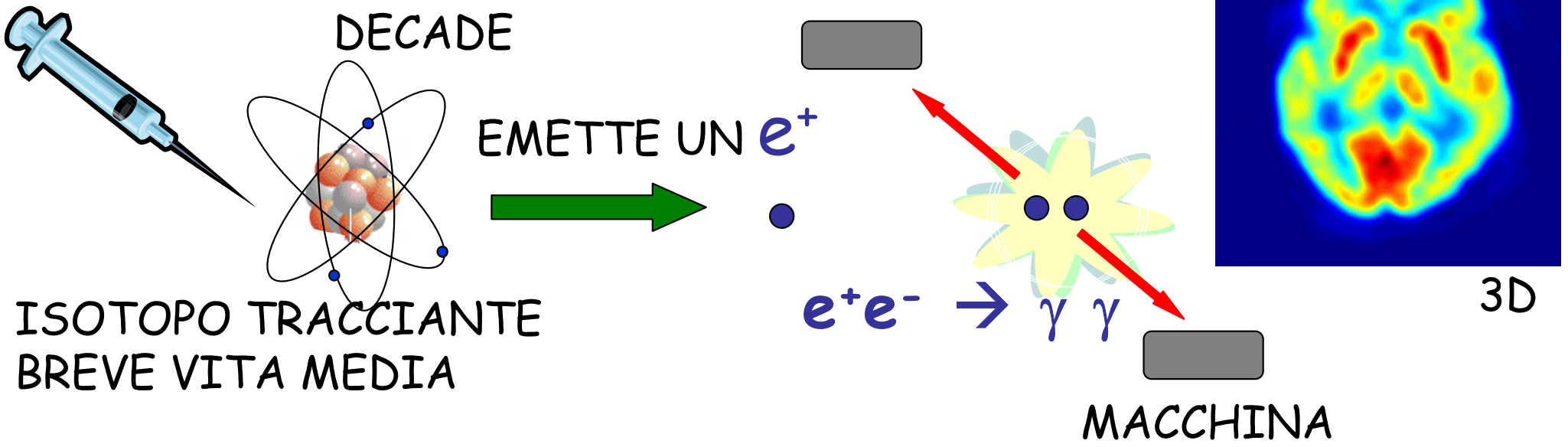
Confinamento magnetico

Intrinsecamente sicuro

Ancora ~ 30 anni di studio

USI: Medicina nucleare e diagnostica

PET (POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY)



TAC (TOMOGRAFIA ASSIALE COMPUTERIZZATA)

RAGGI X CHE RUOTANO ATTORNO AL PAZIENTE → VARIE SEZIONI

ADROTERAPIA

CURA DEI TUMORI → IRRAGGIAMENTO CON PROTONI

VANTAGGIO: AGISCONO SOLO ALLA PROFONDITA' STABILITA

Utilizzi del nucleare: Datazione

CARBONIO 14 (INSTABILE)→ DATAZIONE MATERIALI ORGANICI

PRESENTE NELL'ATMOSFERA → NEGLI ORGANISMI VIVENTI FINCHE' RESPIRANO POI CALA

MISURANDO LA QUANTITA' SI RISALE AL TEMPO PASSATO DALLA MORTE (FINO 50000 ERRORE 2-5%)

Es. **SACRA SINDONE**

NEL 1988 FU DATATA INTORNO 1295-1360

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE
INCENDIO DEL 3-4 DICEMBRE 1532
ALCUNE PARTI DEL TELO RAMMENDATE NEL 1300

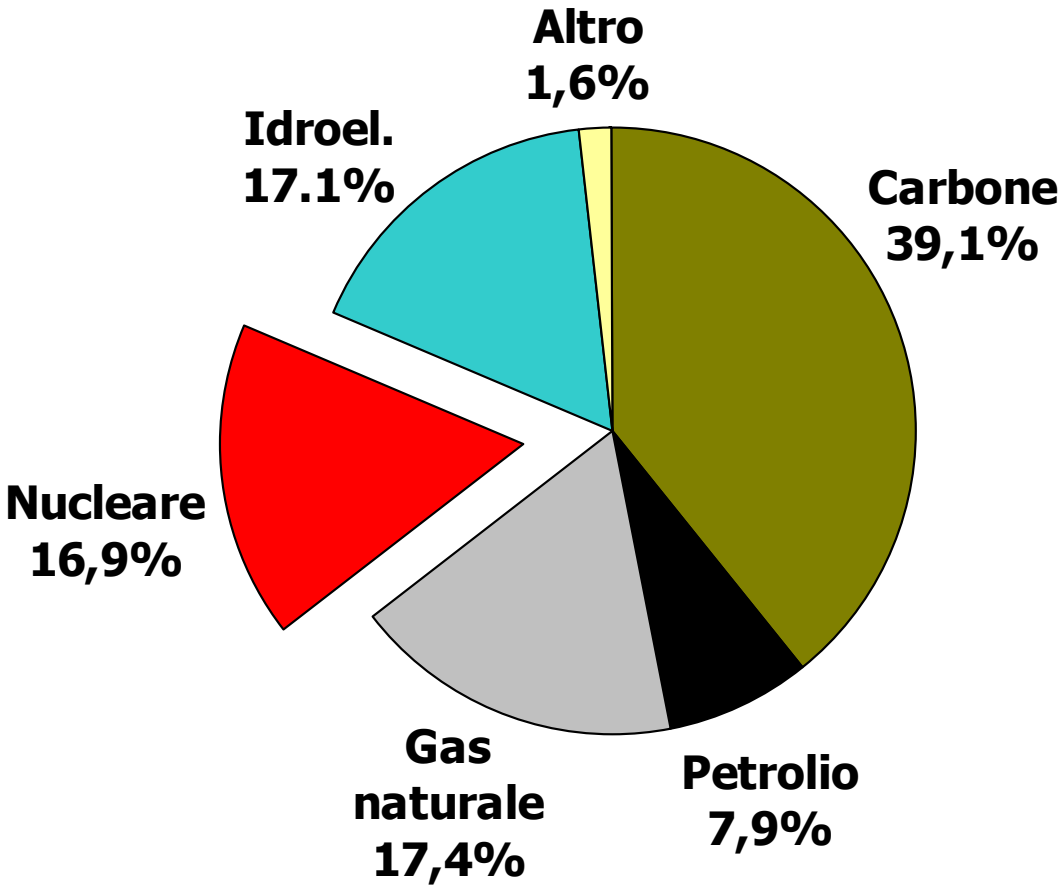
La situazione mondiale

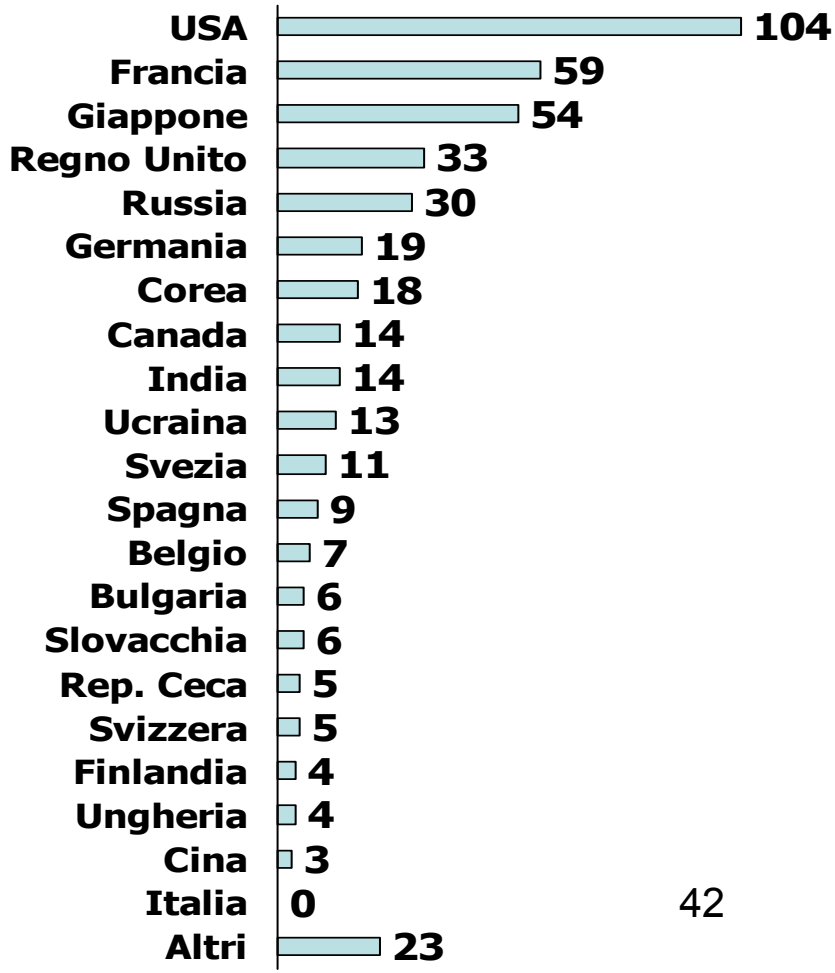
441 impianti in funzione in 30 Paesi, (metà in Europa)

32 nuovi reattori in costruzione (Asia e nell'Est Europeo)

elettronucleare: 17% nel mondo, 35% in Europa

Produzione di elettricità (2000)





Il futuro dell'energia nucleare

PRODUZIONE DI CALORE (ANCHE COMBINATA CON QUELLA DI ELETTRICITÀ)

PRODUZIONE DI IDROGENO: CARBURANTE PER IL TRASPORTO

DESALINIZZAZIONE DELL'ACQUA MARINA

PRODUZIONE DI ISOTOPI: APPLICAZIONI IN MEDICINA, INDUSTRIA, AGRICOLTURA, RICERCA

FUSIONE NUCLEARE REATTORE INTRINSECAMENTE SICURO (PROGETTO ITER)

Energia geotermica

Vapore e acqua calda prodotti dalla disintegrazione di elementi radioattivi contenuti sotto la superficie terrestre

Impianti geotermici in Islanda (Reykjavík è interamente riscaldata dal vapore geotermico)

Italia ha il primo stabilimento termoelettrico a Larderello, 1904 (copre 1% del fabbisogno)

PRO:

- emissione di CO_2 10 volte inferiore dei combustibili fossili

CONTRO:

- fonte non inesauribile (raffreddamento delle riserve)

Energie rinnovabili

2 tipi
- Inesauribili (sole, vento)
- Rigenerabili (biomassa)

Italia, previsione per 2020

Sorgente	%
Solare termico	1
Solare fotovoltaico	0.5
Idroelettrico	7
Geotermica	2.7
Eolico	1.3
biomassa	4.4

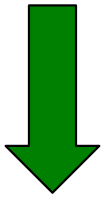
PRO:
- Generalmente rispettano l'ambiente
- Utili a ridurre le importazioni

CONTRO:
- Più complementari che alternative alle energie fossili
- Fonti di natura intermittente (necessari accumulatori poco efficienti, pesanti e costosi

La produzione di energia

Principio della fisica: Non si può creare energia dal niente, la si può ottenere trasformando la natura

Es: **petrolio** → **calore** → **elettricità**



Produrre energia ha un costo (non solo economico)

Es: **petrolio** → **calore** + **anidride carbonica** + **residui** …

Questo principio vale per tutte le fonti di energia

Produrre energia cercando di inquinare il meno possibile

Come si produce il movimento?

MOVIMENTO

GIRANDO UNA MANOVELLA

SFRUTTANDO LA FORZA DELL'ACQUA (mulini)

CREANDO VAPORE CHE SI ESPANDE E COMPRIME CIO' CHE INCONTRA (automobile)

...

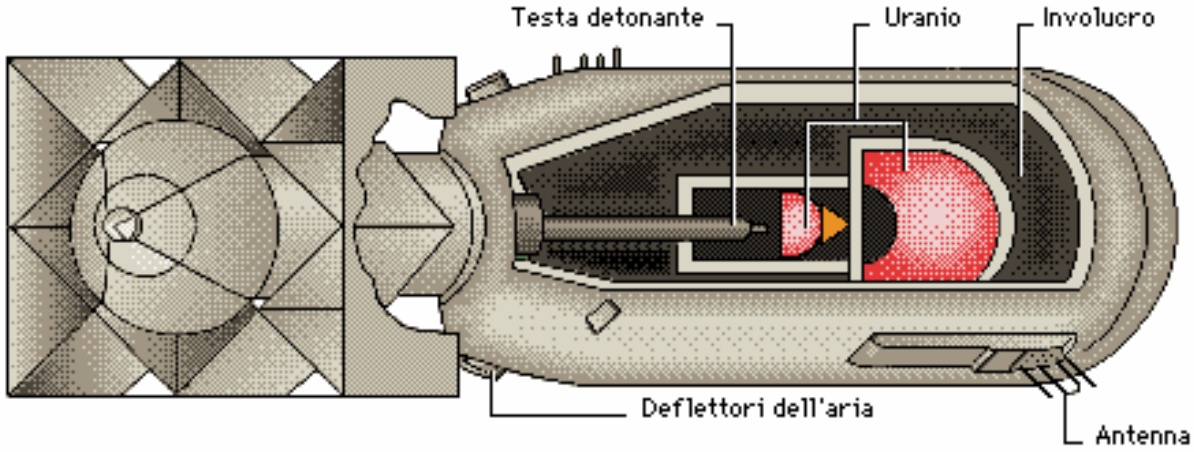
METODI SFRUTTATI NELLE CENTRALI

Reattore/bomba atomica

FUNZIONAMENTO DI UN REATTORE AVVIENE IN **CONDIZIONE DI CRITICITA'**: OGNI FISSIONE NE INDUCE IN MEDIA UN'ALTRA

GESTITO DALLE **BARRE DI CONTROLLO**

MINIMA QUANTITA' DI MATERIALE FISSILE NECESSARIA A SOSTENERE LA REAZIONE A CATENA → **MASSA CRITICA**

BOMBA ATOMICA → LA SOMMA DELLE DUE QUANTITA' DI URANIO E' SUPERIORE ALLA MASSA CRITICA, NO MECCANISMO DI CONTROLLO →TUTTA L'ENERGIA ESCE ISTANTANEAMENTE

Nell'impatto le due masse di uranio sono spinte una sull'altra