

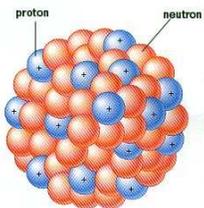
Denuclearizzati??? No, grazie.

Cosa c'è di **nucleare** oltre “il nucleare”

Sergio Scopetta



Dipartimento di Fisica dell'Università di Perugia
& Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, INFN, Perugia



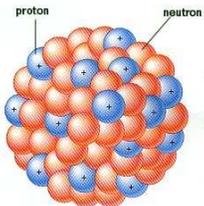
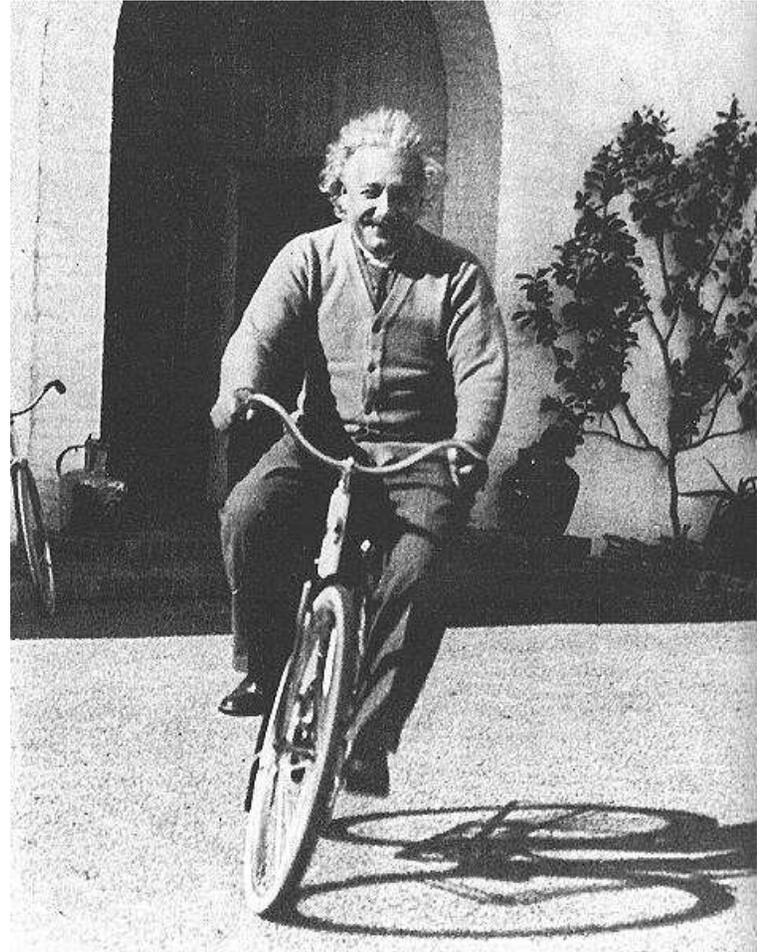
Gennaio 2014

Divulgazione: una sfida difficile

Consiglio di A. Einstein:

*“Make things
as simple as possible,
but not simpler”*

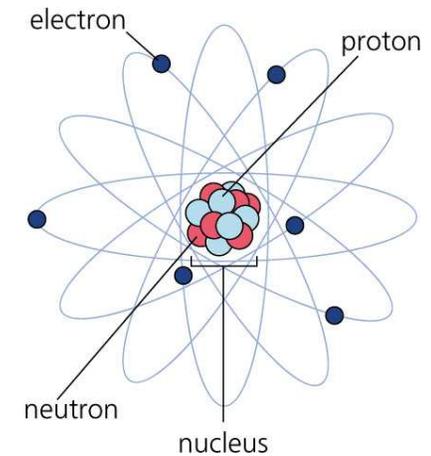
Io, oggi, non vorrei solo
far passare qualche nozione.
Vorrei invitarvi ad avere
opinioni informate,
“laiche”, non “ideologiche”,
personali, non mutuata dai media.
In una parola: “scientifiche”



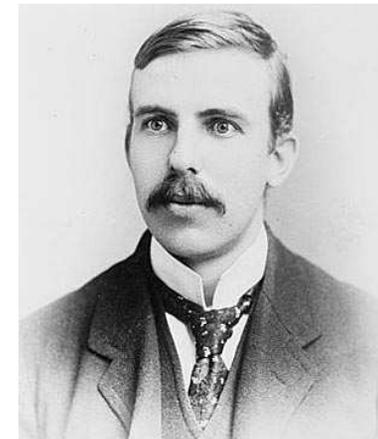
Gennaio 2014

Parleremo di nuclei

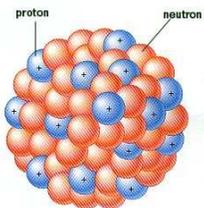
L'atomo è essenzialmente vuoto.
Ciò che lo rende massivo è un minuscolo,
densissimo cuore: il NUCLEO



L'uomo che ha svelato la natura dell'atomo
è stato Lord Rutherford,
circa cento anni fa (1911).



Io sono un fisico nucleare del secolo XXI.
Sono un teorico, non un tecnico del "nucleare"



Ma oggi cerco di parlare delle applicazioni, presenti e future, della fisica nucleare.

Gennaio 2014

L'eredità di Rutherford

- Rutherford, nel 1911, con α di $T \simeq 5$ MeV, vedeva il nucleo puntiforme.
Risoluzione: $10^{-14}m$
- Anni '40, $T \simeq 100$ MeV, si vede la struttura in protoni (e neutroni) ($10^{-15}m$)
- Anni '50, $T \simeq 10^3$ MeV= 1 GeV, si vede la struttura del protone (e del neutrone) ($10^{-16}m$)
- Anni '60-'70, $T \simeq 10$ GeV, si vede quark puntiformi nel protone (e nel neutrone) ($10^{-17}m$)
- Oggi, LHC...
struttura di quark ed elettroni? ($< 10^{-18}m$)

Scale in m:

$10^{-10}m$

atom

$10^{-14}m$

nucleus

$10^{-15}m$

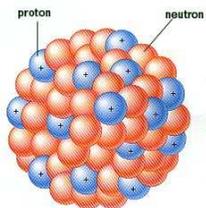
proton

$\leq 10^{-18}m$

quark

Scale

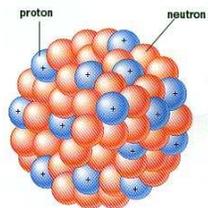
e



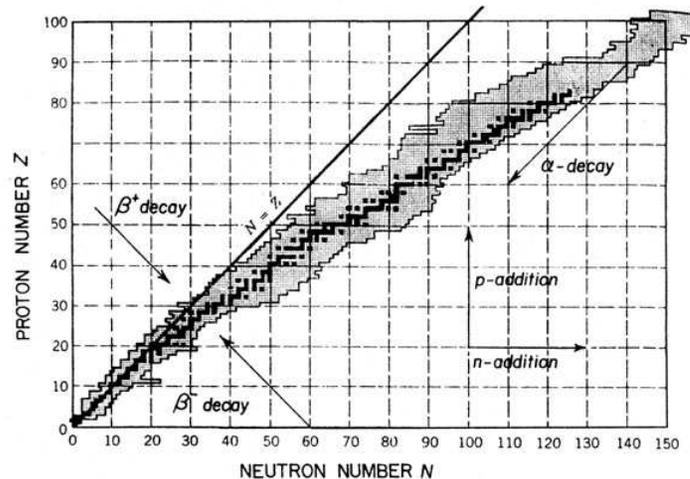
Siamo andati molto oltre: ma fermiamoci al nucleo

Sommario

- **La prima lezione di Fisica Nucleare**
(Energia di legame, stabilità nucleare, radioattività)
- **Chi ha paura della Fisica Nucleare?**
- **“Il nucleare”:**
uso dell’energia nucleare da fissione per scopi civili
(e militari...)
- **Oltre “il Nucleare”:**
La Fisica Nucleare e la nostra vita (futura)
(terapia adronica, energia da fusione nucleare,
visione del mondo)

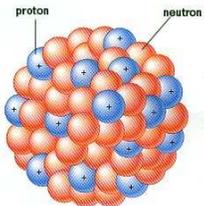


1^a Lezione: Carta dei nuclei stabili



- Si conoscono circa 1000 diversi nuclei. Solo 300 sono **stabili** (in nero) (Numero degli elementi noti, 107). Come si spiega la carta?
- Certamente i neutroni (Chadwick, 1934) danno stabilità.
- Un concetto importante: **Energia di legame, E_A** : energia minima che è necessario fornire a un nucleo con A nucleoni (protoni e neutroni, $A = N + Z$) e massa M_A , per scinderlo nei suoi costituenti (con massa m):

$$M_A c^2 + E_A = m_1 c^2 + \dots m_A c^2$$

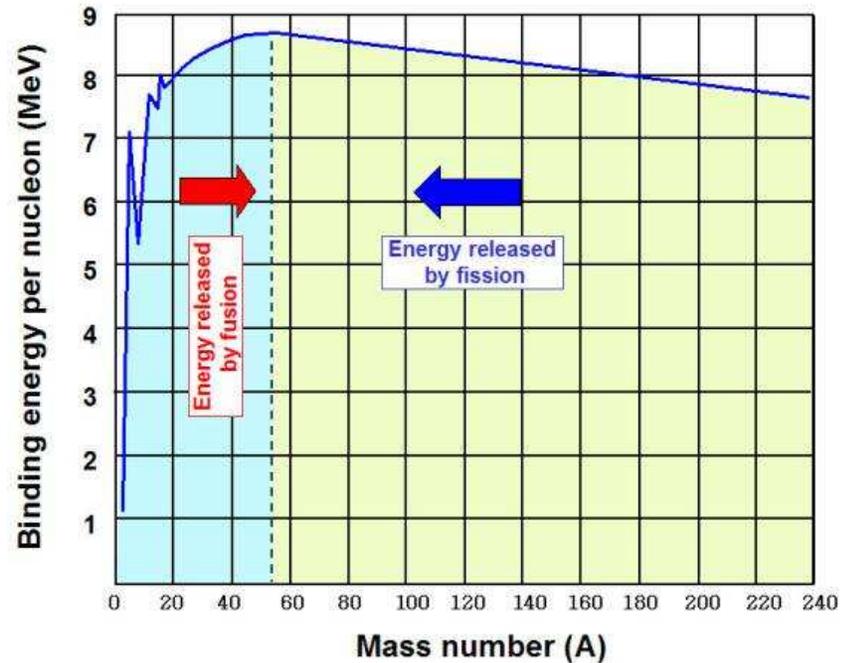


I nuclei più stabili hanno E_A maggiore!

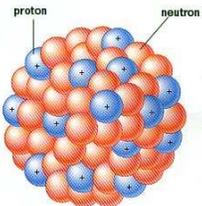
1^a Lezione: l'energia di legame



$E_A/A \simeq 8 \text{ MeV}$
 ($\simeq 1\%$ dell'energia di massa):
 sistemi MOLTO legati
 (atomo, $\simeq 0.001\%$)



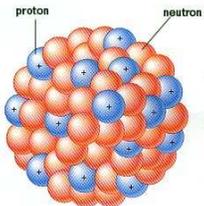
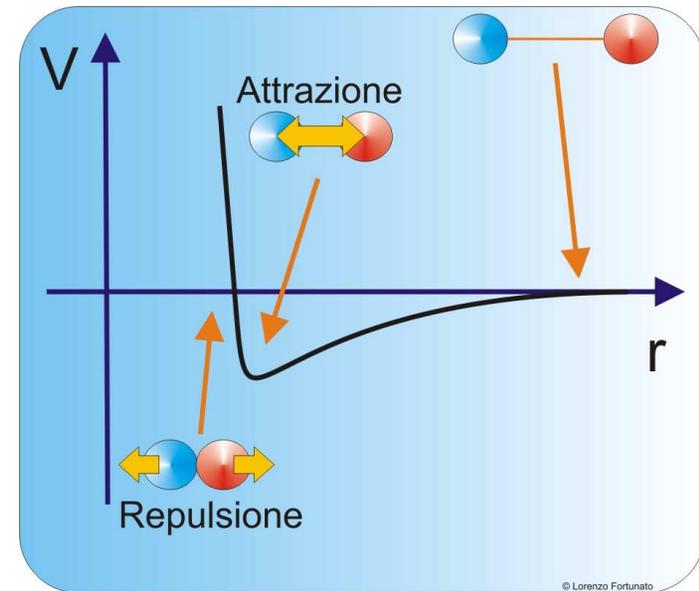
nucleo	E_A [MeV]	E_A/A [MeV]	$E_A/n^{\circ} \text{coppie}$ [MeV]
${}^2_1\text{H}$	$\simeq 2$	$\simeq 1$	$\simeq 2$
${}^4_2\text{He}$	$\simeq 27$	$\simeq 7$	$\simeq 4$
${}^{16}_8\text{O}$	$\simeq 128$	$\simeq 8$	$\simeq 1$



Un nucleone interagisce solo con i suoi vicini
 \Rightarrow **FORZE NUCLEARI A CORTO RAGGIO (10^{-15} m!)**

1^a Lezione: forze nucleari

- La forza è più intensa dove il potenziale è più ripido; La forza è attrattiva (repulsiva) dove il potenziale cresce (diminuisce) con la distanza r .
- Le stesse per protone-neutrone, protone-protone... (quasi...)
- Nel CORTO RAGGIO in cui sono attive, più intense della repulsione elettrica tra i protoni (ovvio...)
- CORTO RAGGIO: molto difficili da studiare (esperimenti di urto)



1^a Lezione: l'instabilità nucleare



a), b): nuclei **stabili**

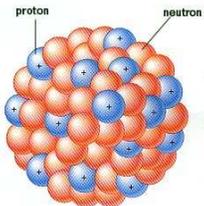
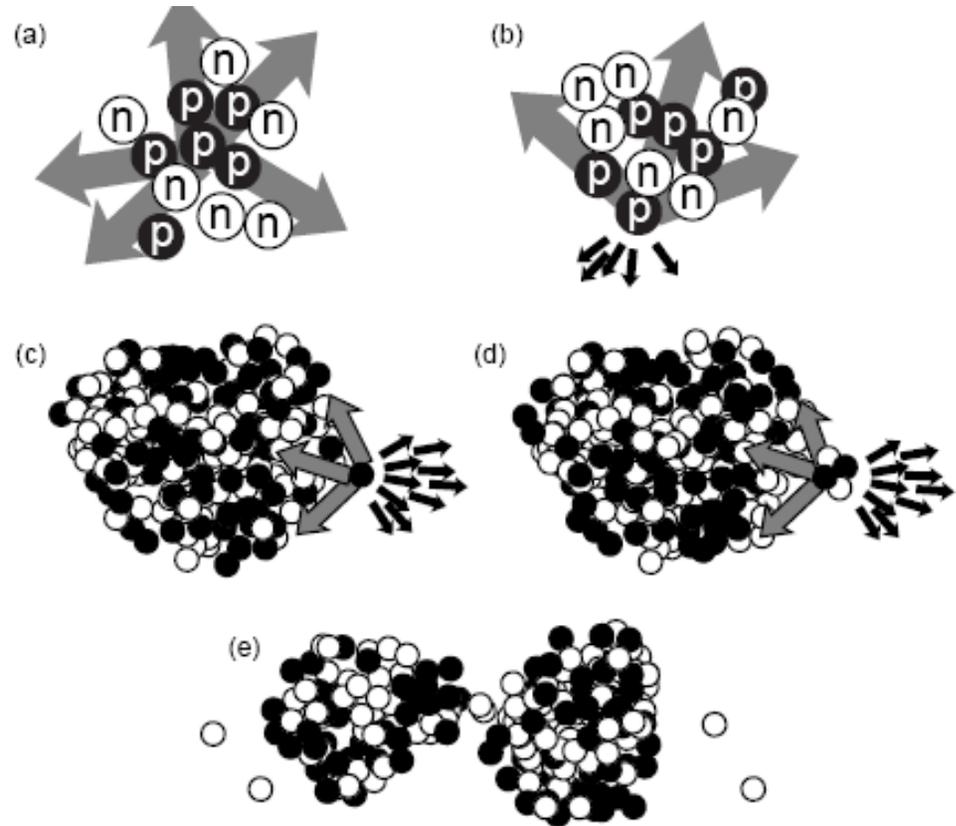


c) emissione di protoni
(rara)

d) emissione α

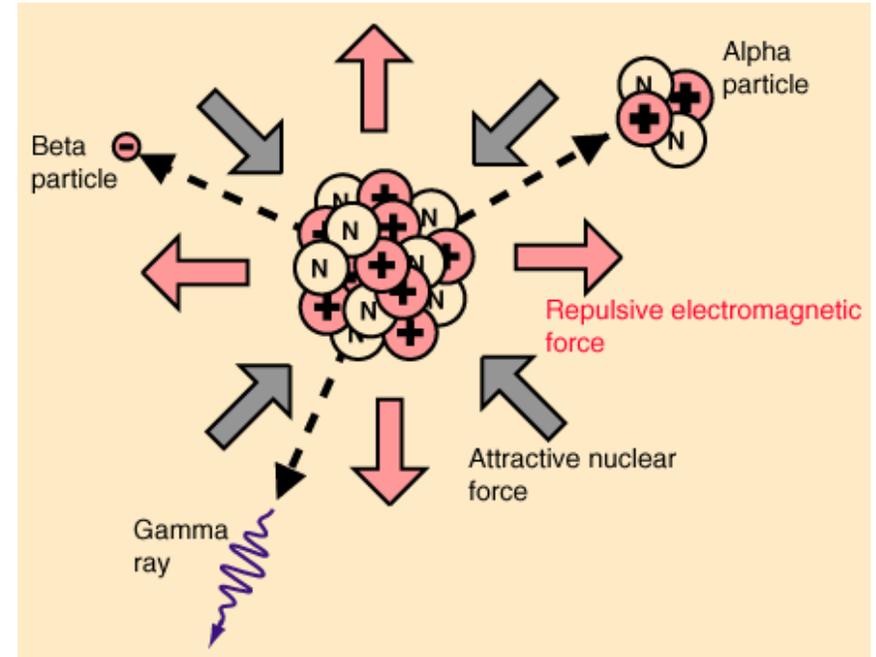


d) fissione spontanea
(rara)

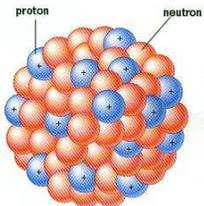


1^a Lezione: Radioattività

- dallo studio del delicato equilibrio nucleare emerge che particelle α (${}^4_2\text{He}$) β (elettroni) γ (radiazione elettromagnetica di alta energia) sono **NATURALMENTE** emesse



- Sono buone o cattive?
La Natura è madre o matrigna?
- Non chiedetelo a noi...



Gennaio 2014

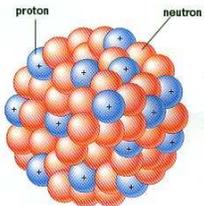
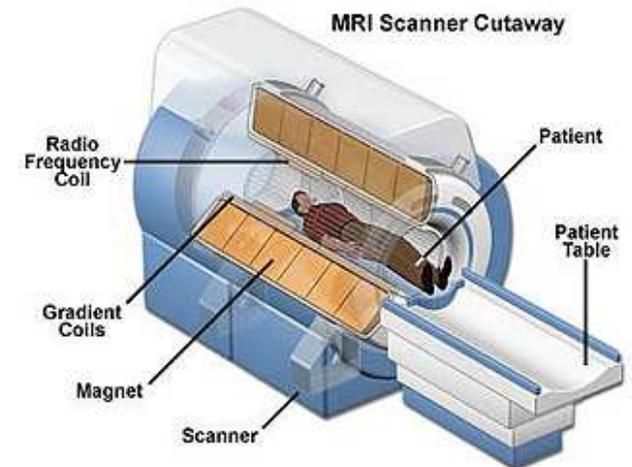
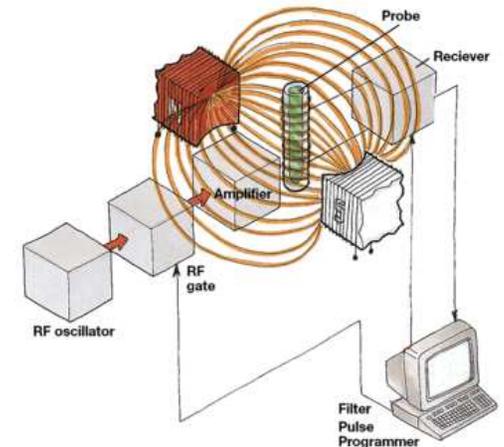
Esempio: Risonanza Magnetica Nucleare

- Rabi (anni '30, Nobel 44)
Studi di fisica nucleare fondamentale
- Bloch & Purcell (anni '40, Nobel 52)
Studi di fisica della materia
- Lauterbur & Mansfield (Nobel MEDICINA 2003)
Applicazioni diagnostiche

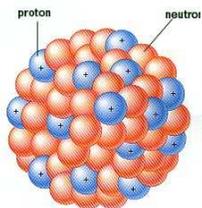
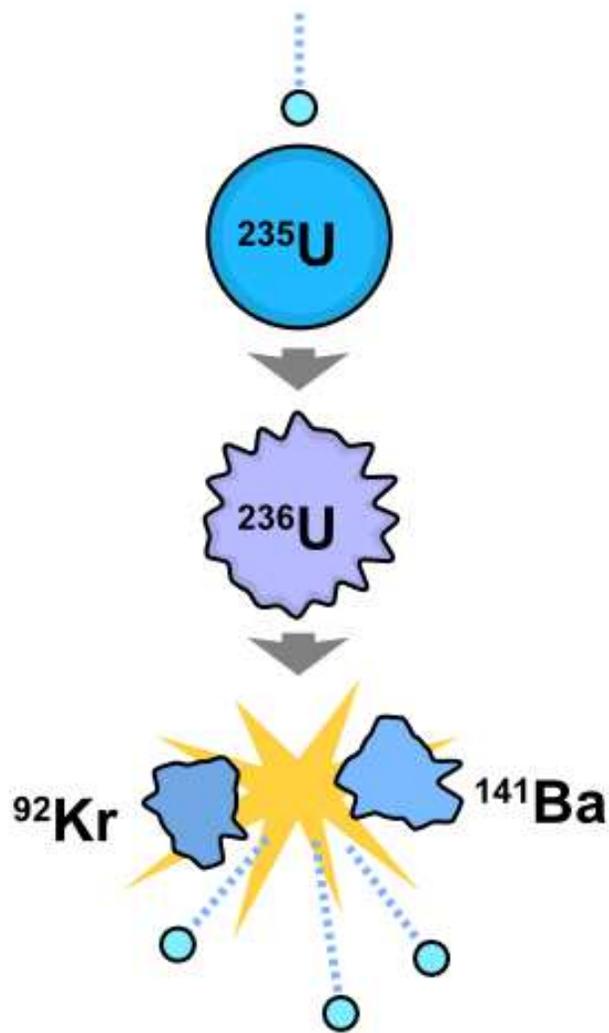
Ormai viene chiamata

Risonanza Magnetica. E BASTA.

Per non spaventare i pazienti...



Chi ha paura della Fisica Nucleare?



Gennaio 2014

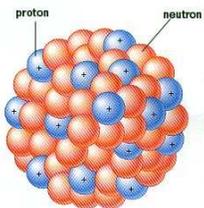
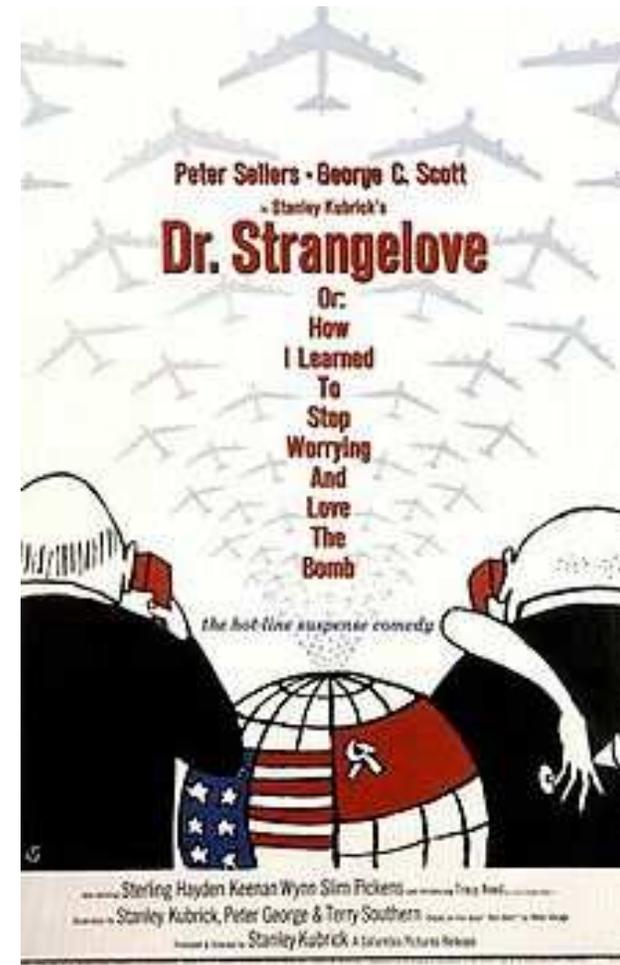
Chi ha paura dei Fisici Nucleari?

.. Io non dico che dovremmo

“smettere di preoccuparci”...

Tantomeno che dovremmo *“amare la bomba”!*

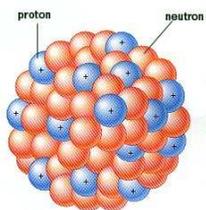
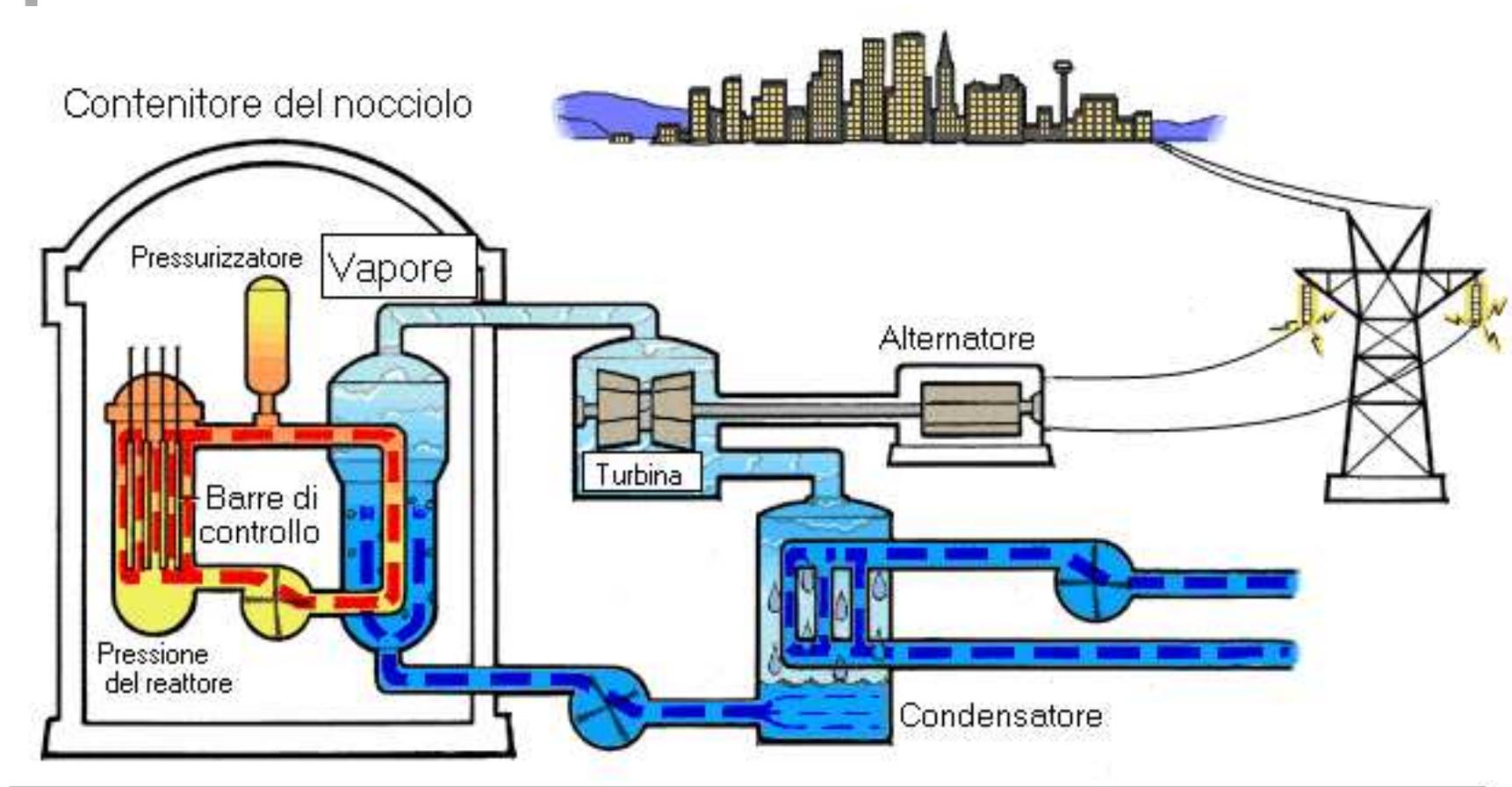
Ma che le cose andrebbero valutate
laicamente, sì, fatemelo dire, per favore



Non parlerò di bombe. Sono solo il male (o no???)

Gennaio 2014

Una centrale nucleare



Gennaio 2014

La filiera del "nucleare"

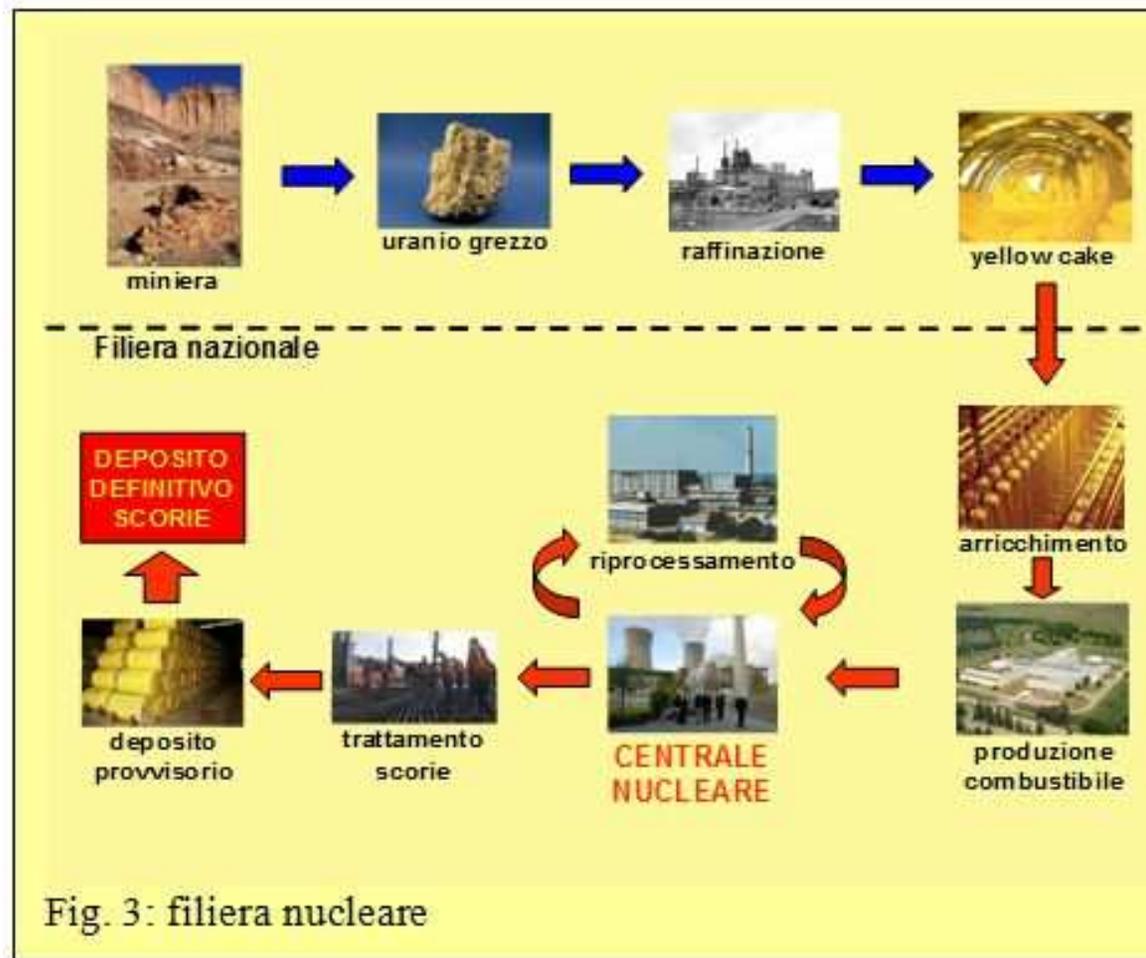
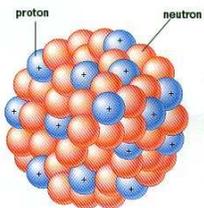


Fig. 3: filiera nucleare



Fatti e miti. Le ragioni (?) dei detrattori

- *L'Energia nucleare è superata*

Falso. Quella nucleare è la sola tecnologia allo stesso tempo matura e disponibile ai livelli di scala necessari (aumento dei consumi di elettricità di un fattore 2.5 entro il 2050). NON SI PRODUCONO GAS SERRA.

- *Le centrali nucleari sono in fase di smantellamento in ogni Paese*

Falso. Esistono 439 centrali di generazione II e III attive nel mondo, 41 in costruzione. Oggi il 16 % dell'energia elettrica è prodotta nelle centrali nucleari. Nel 2050 sarà il 22 %. Negli USA saranno costruite nuove centrali nei prossimi anni.

- *Le centrali sono pericolose*

Vero. Ovviamente. La manutenzione normale evita rischi di esercizio. Produrre energia, per definizione, comporta rischi. La filiera è molto più sicura di altre (Vajont... Quanti minatori muoiono per estrarre il carbone? La British Petroleum? Le guerre in Medio Oriente?). Il materiale fissile si estrae in Paesi politicamente stabili.

- *Le centrali sono costose*

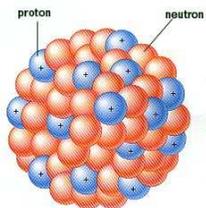
Falso. Allo stato attuale un Kwh nucleare costa 8 volte meno di uno prodotto con fonti primarie rinnovabili (eolico, fotovoltaico). Comunque: ci sono dei miglioramenti continui in quest'ultimo settore. Per un Paese come l'Italia c'è un problema economico di competitività industriale. Per un Paese in via di sviluppo fornire energia ai cittadini significa garantirgli un diritto, aumentarne la speranza di vita. Costi elevati non sono sostenibili.

- *La costruzione delle centrali richiede molto tempo*

Dipende. In Finlandia sono pronte in 48 mesi.

- *Il problema delle scorie non è risolto*

VERO. Questo è il problema.



Fatti e miti. Le ragioni (?) dei sostenitori

- **Le centrali in costruzione oggi sono più sicure di quelle di un tempo. Producono meno scorie. Sono autofertili.**

Falso. Le centrali commerciali attuali sono di generazione III. Rispetto a quelle di generazione II sono protette da attacchi terroristici. Il funzionamento è lo stesso di quelle di II. Miglioramenti sono attesi con la generazione IV (reattori veloci, autofertili, ritrattamento del combustibile). Non disponibili prima del 2030.

- **Esistono tecnologie per neutralizzare le scorie**

Falso. I grandi Paesi nuclearizzati dispongono di cimiteri nazionali appositi. Non disponibili ad ospitare rifiuti di altri Paesi. Pratica costosa. In teoria, devono restarci per 30000 anni. Questo costa il 3 % del costo di esercizio complessivo (non poco: una centrale funziona per 30 anni). Comunque: una centrale di 1 GW produce 1 m³ di scorie all'anno.

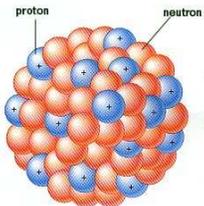
- **Le risorse di materiale fissile sono inesauribili**

Falso. Ce ne sono per un secolo se va bene. Con reattori di generazione IV, il problema è però risolto (Uranio spento come combustibile).

Riferimenti bibliografici

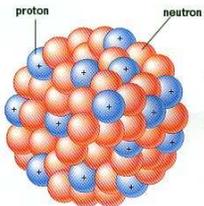
[1] Prospettive dell'Energia Nucleare 2008 (www.nea.fr/neo/summaries.italian.pdf)

[2] D. Coiante "Fonti rinnovabili in Italia e problematiche per l'applicazione"
<http://www.amicidellaterra.it/adt/images/stories/File/downloads/pdf/Energia/EnergieRinnovabili/Le-FR-e-le-loro-problematiche-coiante.pdf>



Fatti. “Il nucleare” italiano

- Chicago, 2-12-1942, un italiano accende la prima “pila atomica”
- 1963-1964: prime centrali italiane.
Latina (Magnox, 153 MW); Garigliano (CE), (BWR, 150 MW); Trino (VC) (260 MW, PWR): la più potente al mondo; Centrali di generazione I (reattori sperimentali)
- 1975-1987: Piano Energetico Nazionale
Due nuovi reattori in cantiere a Trino (PWR, 950 MW); Nuove centrali a Caorso (BWR, 860 MW, allacciata nel 1981) e Montalto di Castro (VT, mai accesa)
- 1986: Incidente di Chernobyl (Ucraina, URSS)
- 1987: Referendum - dismissione del programma nucleare italiano.
Perdita per il Paese stimata in 80 miliardi di euro
- 2009: Si riparla di Nucleare
- Marzo 2011: Incidente di Fukushima Dai-chi (Giappone)
- Referendum: 94 % dei votanti contrari. Fine



Preoccupazione mia: non è che, con la fine del “nucleare”, non avrà futuro, nel mio Paese, anche tutto quello che c’è OLTRE?

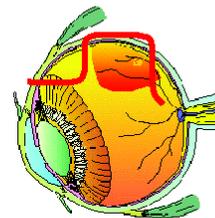
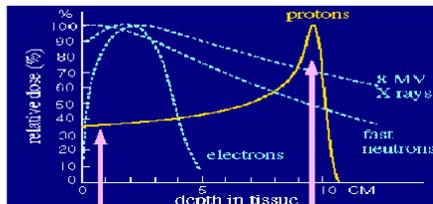
Le radiazioni fanno male? Dipende...

A facility for the treatment of ocular tumours with 62 MeV proton beams

CATANA

Total > 210 patients

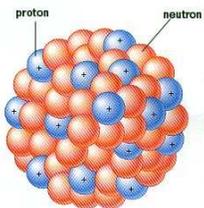
Treatment of choroidal melanoma:
about 300 new cases/year in Italy



LNS Superconducting Cyclotron is the only machine in Italy and South Europe used for protontherapy

CATANA è una macchina installata presso i **Laboratori Nazionali del Sud** dell'**Istituto Nazionale di Fisica Nucleare**, a **Catania**.

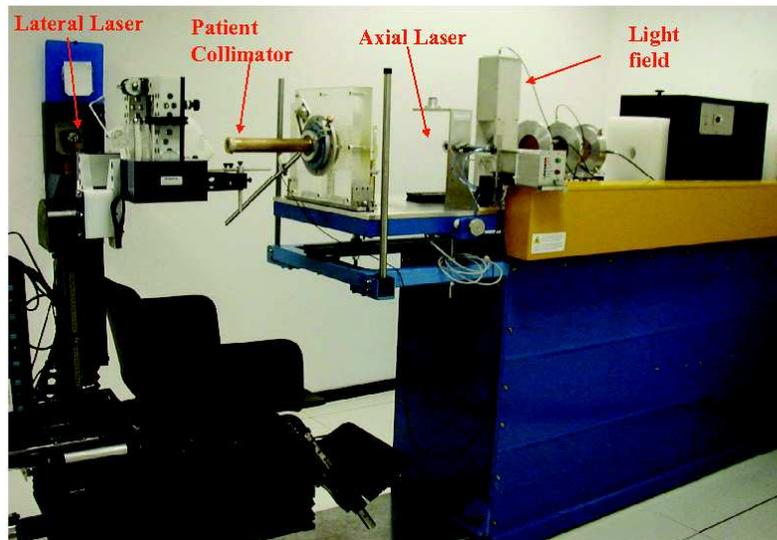
Rispetto alla radioterapia “tradizionale” (raggi X e γ), l’uso di **protoni**, data la loro **massa**, consente il **deposito localizzato dell’energia**, con minore danno ai tessuti sani. Ideale per il trattamento dei carcinomi del bulbo oculare.



Le radiazioni fanno male? Dipende...

CATANA

The treatment beam line

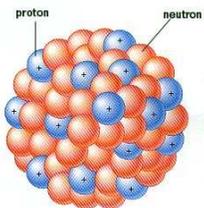


“Quando il fisico nucleare diventa oculista...”

Nel 95 % dei casi, i pazienti guariscono e non perdono l'occhio

Nel 50 % dei casi, mantengono la visione

Numeri importanti, no?



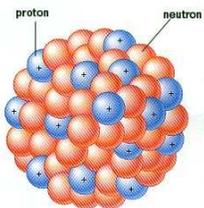
Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

Stato e prospettive delle ricerche sull'energia da fusione

Francesco Romanelli
EFDA Leader and JET Leader
European Fusion Development Agreement (EFDA)
Perugia, 28 Aprile 2011

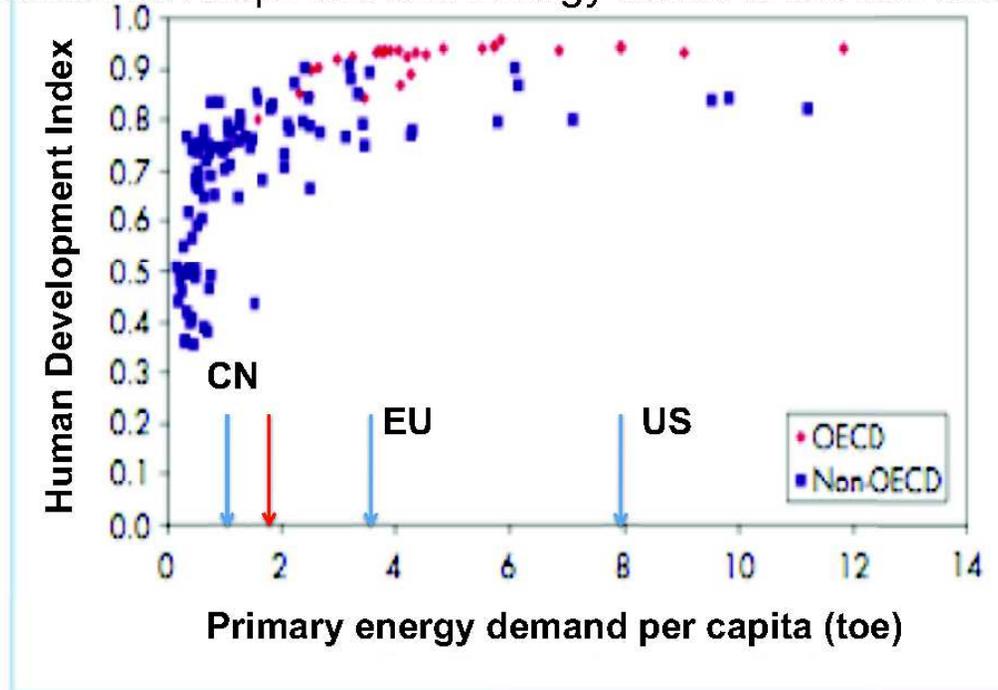
Le diapositive che seguono sono tratte da un seminario tenuto da **Francesco Romanelli**, leader del maggiore esperimento di fusione a confinamento magnetico al mondo (Oxford (UK), UE), **JET**, qualche settimana fa, da noi, al Dipartimento di Fisica.



Gennaio 2014

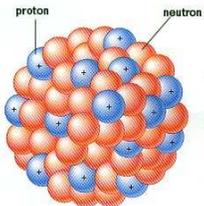
L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

Human development and Energy demand are correlated



Source: IEA analysis; UNDP (2004).

La qualità, e la **durata** stessa della vita crescono con l'energia disponibile (fino a saturazione).
Un paese in via di sviluppo deve disporre di più energia: entro il 2050, la richiesta di energia raddoppierà

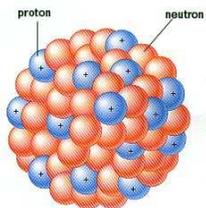


Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

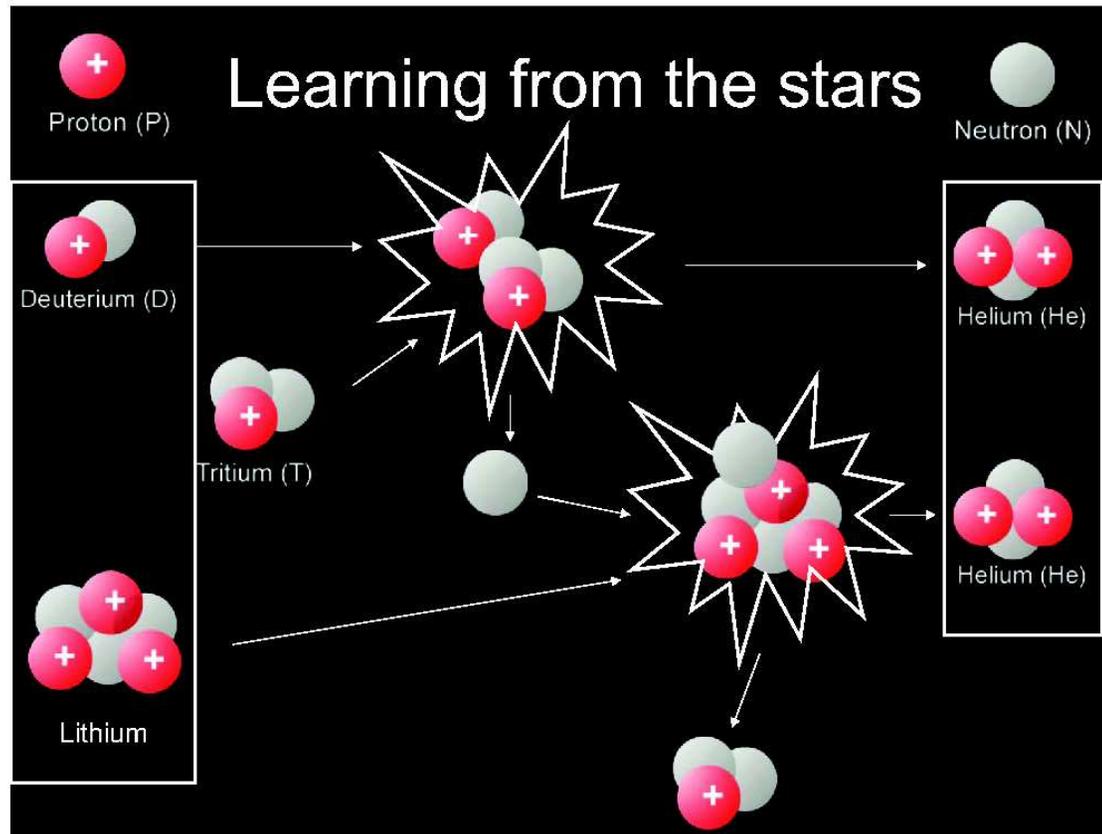


La Fusione nucleare è una fonte illimitata e disponibile per tutti, non produce gas serra, è intrinsecamente sicura, non produce scorie... **Ancora un sogno?**

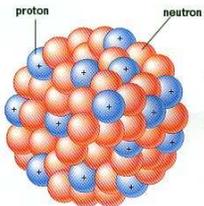


Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...



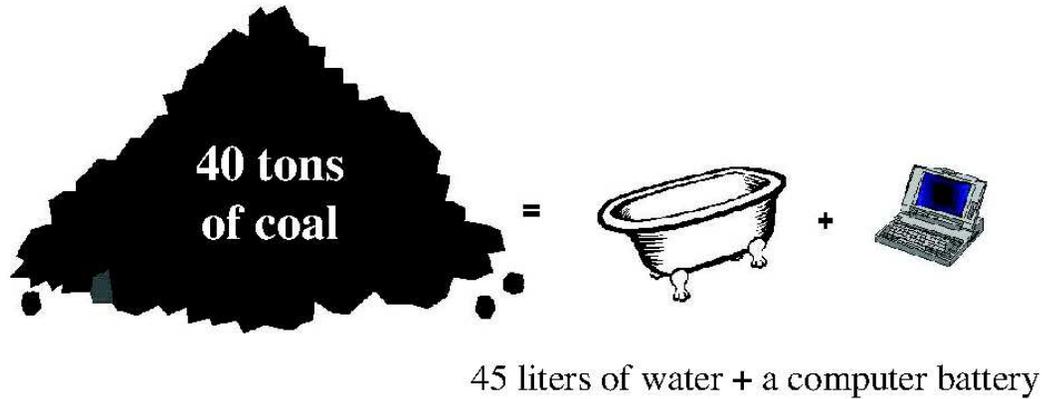
La reazione di fusione è la Deuterio-Trizio (catalizzata dal Litio).
Nel Sole avviene un'altra catena di reazioni (catena p-p).
Ma il Sole è "poco efficiente" (1 m^3 di Sole produce 100 W)!



L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

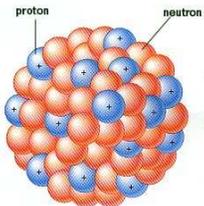


Electricity consumption for 30 years
by a single EU person.



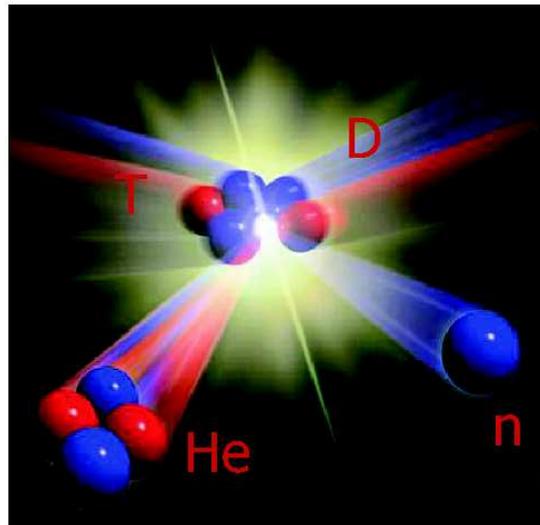
In un litro di acqua di mare ci sono:

- * Circa 24 mg di deuterio;
- * Circa 0.2 - 0.3 mg di litio;



L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

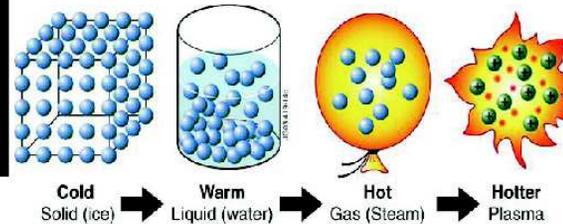
How to make fusion?



Reacting nuclei are charged
⇒ they repel each other

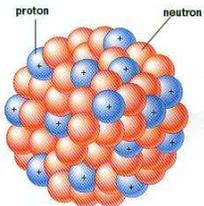
Heat nuclei up to 200 Million °C

Matter is in the *plasma* state



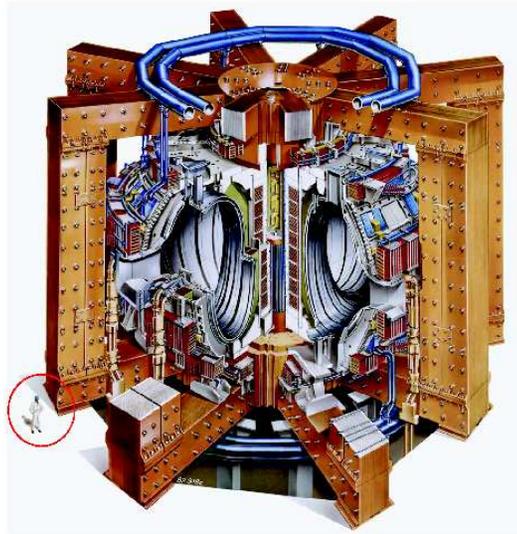
* I nuclei, per fondersi, devono giungere molto vicini (ricordate la lezione? Le interazioni sono a corto raggio!).

* Ma sono carichi! Si respingono elettricamente!!!



L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

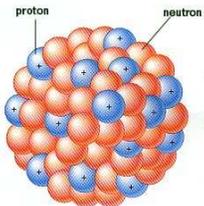
How to confine a plasma?



**Joint European Torus
(JET)**

- **Intense magnetic field**
(100000 x the earth magnetic field)
- **Toroidal shape**
- In addition:
 - External heating methods
 - Advanced diagnostic systems

JET (Oxford (UK), UE) è il maggiore esperimento di fusione nucleare a confinamento magnetico al mondo



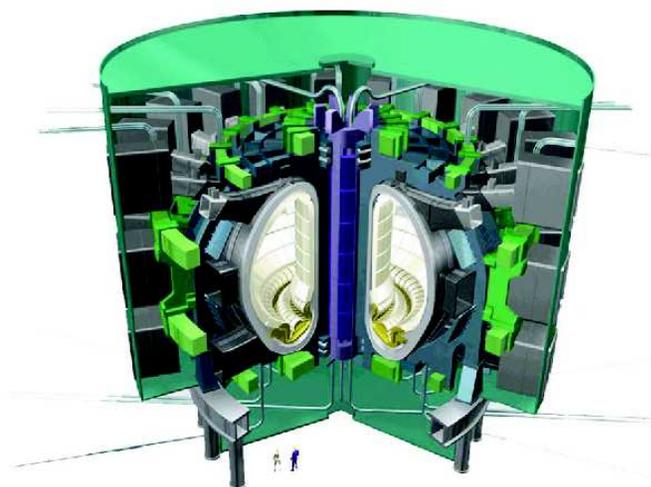
Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

How to confine a plasma?

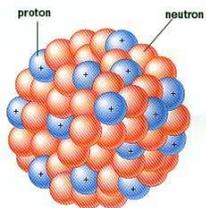


Joint European Torus
(JET)



ITER

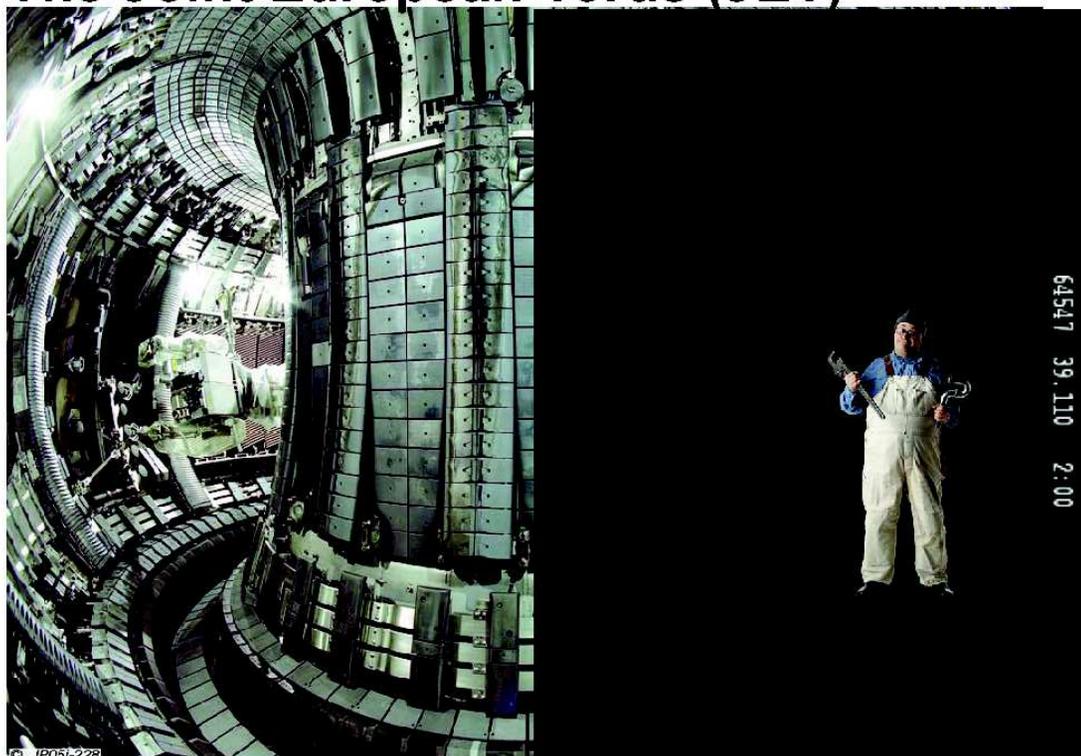
Il progetto ITER sarà un'evoluzione di JET... Più GRANDE



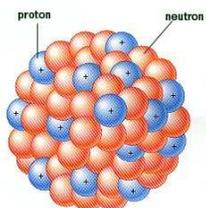
Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

The Joint European Torus (JET)



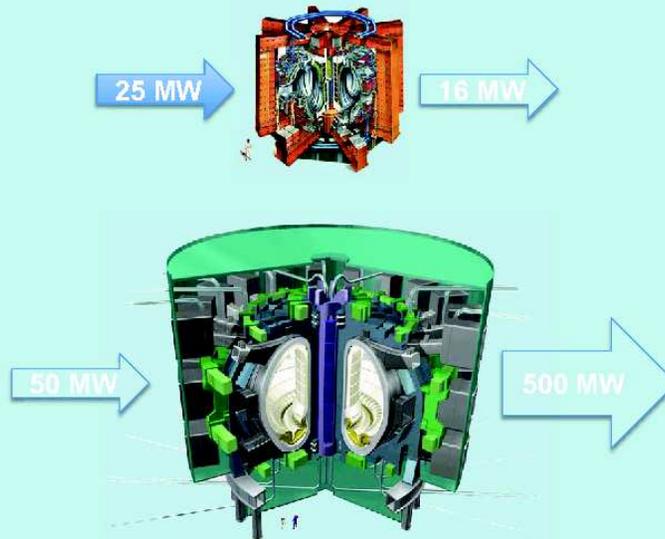
Queste sono le dimensioni, già ragguardevoli, di JET...



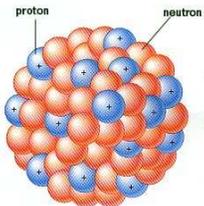
Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

Challenge 2: Reduce the energy losses



Ma è necessario costruire macchine più grandi. JET consuma più di quanto produce: l'energia prodotta aumenta con il volume, l'energia persa, con la superficie. Macchine più grandi sono vantaggiose.

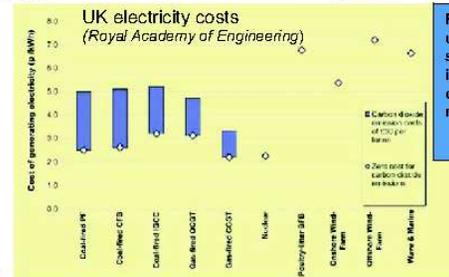
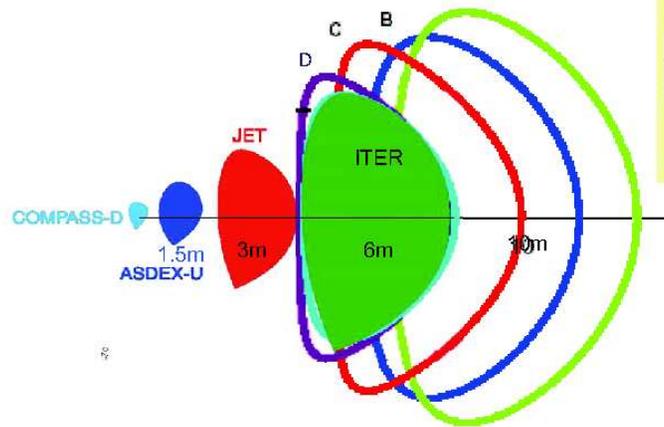


L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

Fusion Power Plant



Step ladder approach_A



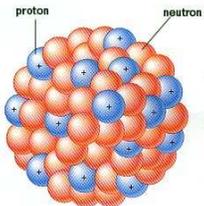
Cost of electricity from fusion expected to be competitive with other sources (IEA Levelised Cost Approach)

ITER is a moderate extrapolation from JET (x2)

The Power Plant (1.5GWe) expected to be a moderate extrapolation from ITER (x1-1.5) depending on the assumptions on physics and technology solutions (A=conservative; D=advanced)

EFDA Power Plant Conceptual Study

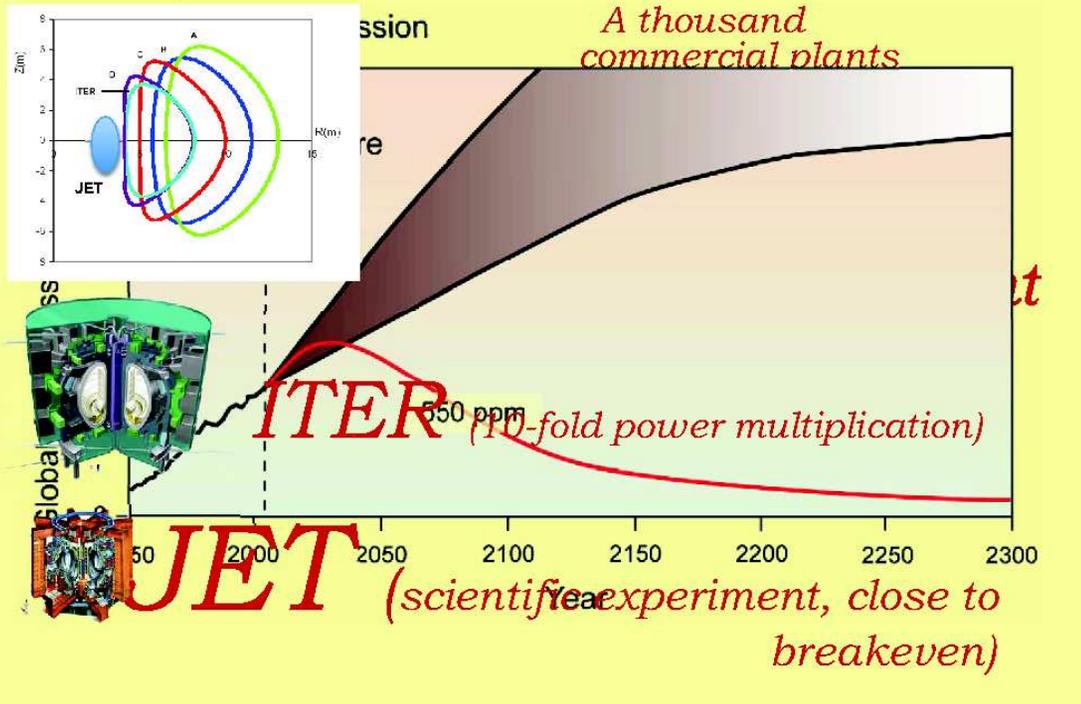
Una centrale a fusione sarà un po' più grande...



Gennaio 2014

L'energia nucleare è pericolosa? Dipende...

Will Fusion arrive in time?

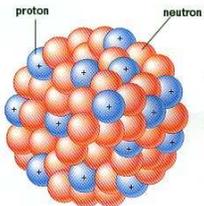


JET, un esperimento scientifico, ha avuto successo.

ITER sarà produttivo nel 2026...

Un prototipo di centrale commerciale? Nel 2040, forse...

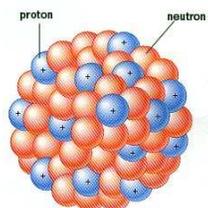
Se si finanziasse un po' più...



Gennaio 2014

Conclusioni

- Il nucleo dell'atomo, come tutte le cose di natura, è bello
- La Fisica Nucleare è bella
- La Fisica Nucleare, disciplina scientifica dominante nel secolo XX, potrebbe “salvarci” nel secolo XXI...
... Se non ci denuclearizziamo...
- Noi, comunque, la studiamo perchè è bella!
(I Fisici si divertono, sempre!)



Divulgazione: una sfida perduta?

È certo ora di terminare:

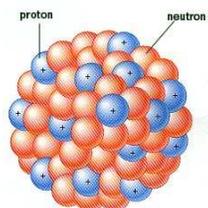
*“Se un seminario dura tre quarti d’ora,
nel primo ascoltano tutti,
nel secondo solo gli specialisti,
nel terzo... Neanche chi parla!”*

E. Fermi



Troppo divulgativo? Domande! Ora, oppure a:

sergio.scopetta@pg.infn.it



Gennaio 2014

La ricerca in Fisica, a Perugia

LA REPUBBLICA GRANDE GUIDA UNIVERSITÀ



LE CLASSIFICHE DELLA RICERCA

→ AREA 02

SCIENZE FISICHE

CLASSIFICA CENSIS

ATENE0	POSIZIONE	MEDIA	ATENE0	POSIZIONE	MEDIA
PERUGIA	1	102,0	TRENTO	12	89,5
TRIESTE	2	99,5	ROMA TOR VERGATA	15	89,0
FERRARA	3	98,5	CAMERINO	16	88,5
ROMA LA SAPIENZA	4	95,0	FIRENZE	17	87,5
URBINO	5	94,5	MARCHE	17	87,5
SIENA	6	93,0	GENOVA	19	87,0
BASILICATA	7	92,0	PIEMONTE ORIENTALE	20	86,5
PADOVA	8	91,5	TORINO	21	86,0
UDINE	8	91,5	MILANO	22	85,5
PISA	10	91,0	BRESCIA	23	85,0
INSUBRIA	11	90,5	NAPOLI 2 - CASERTA	24	84,0
MILANO BICOCCA	12	89,5	ROMA TRE	24	84,0
MILANO POLITECNICO	12	89,5	BARI POLITECNICO	26	83,5

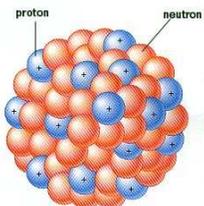
SEGUE ►

24 GRANDE GUIDA UNIVERSITÀ LA REPUBBLICA

► SEQUE SCIENZE FISICHE

ATENE0	POSIZIONE	MEDIA	ATENE0	POSIZIONE	MEDIA
BOLOGNA	26	83,5	LAQUILA	36	76,5
PAVIA	28	81,0	PARMA	37	76,0
CALABRIA	29	80,5	SALENTO	38	75,0
NAPOLI FEDERICO II	29	80,5	CATANIA	39	74,0
SALERNO	29	80,5	PALERMO	39	74,0
CAGLIARI	32	80,0	BARI	41	73,5
MODENA E REGGIO EMILIA	32	80,0	MESSINA	42	66,0
TORINO POLITECNICO	34	78,5			
NAPOLI PARTHENOPE	35	77,0			

LA REPUBBLICA GRANDE GUIDA UNIVERSITÀ 25



Gennaio 2014

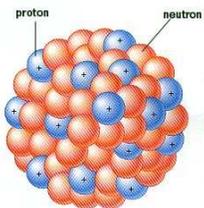
Il vostro parere è importante...

Per migliorare sempre più la qualità dell'offerta dei seminari, abbiamo predisposto un questionario online, all'indirizzo

<http://www.fisica.unipg.it/dip/questionario-scuole>

- Selezionando il nome della scuola si accede a tutti i seminari effettuati presso quella scuola.
- Gli studenti e docenti sono invitati a esprimersi solo sui seminari che hanno seguito.
- Per ciascun seminario si può dare una valutazione (da 1 a 5) su tre indicatori: chiarezza dell'esposizione, interesse dell'argomento e gradimento complessivo.
- Si può esprimere inoltre una valutazione globale sull'iniziativa prima di inoltrare il questionario.

GRAZIE PER LA COLLABORAZIONE!!!



Gennaio 2014