

Visita ai Laboratori dell'INFN 11-12 Gennaio 2019 Laboratori Nazionali di Legnaro



Francesco Longo
Dipartimento di Fisica
Universita' di Trieste
e INFN/Trieste

*Via Valerio 2, Trieste, 34127, Italy
(francesco.longo@ts.infn.it)*



Slides da A.Gozzelino , E.Menichetti, R.Lea, J.Valente

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL)



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro

Storia INFN

L'INFN è stato istituito l'8 agosto 1951 da gruppi delle Università di Roma, Padova, Torino e Milano al fine di proseguire e sviluppare la tradizione scientifica iniziata negli anni '30 con le ricerche teoriche e sperimentali di fisica nucleare di Enrico Fermi e della sua scuola.

I laboratori sono parte dell'INFN dal 1968.

L'ente favorisce l'innovazione e promuove il trasferimento al mondo produttivo e alla società delle conoscenze e tecnologie acquisite.



Anni '60: la torre del CN ai LNL



I ragazzi di via
Panisperna

(da sinistra)

Oscar D'Agostino

Emilio Segrè

Edoardo Amaldi

Franco Rasetti

Enrico Fermi

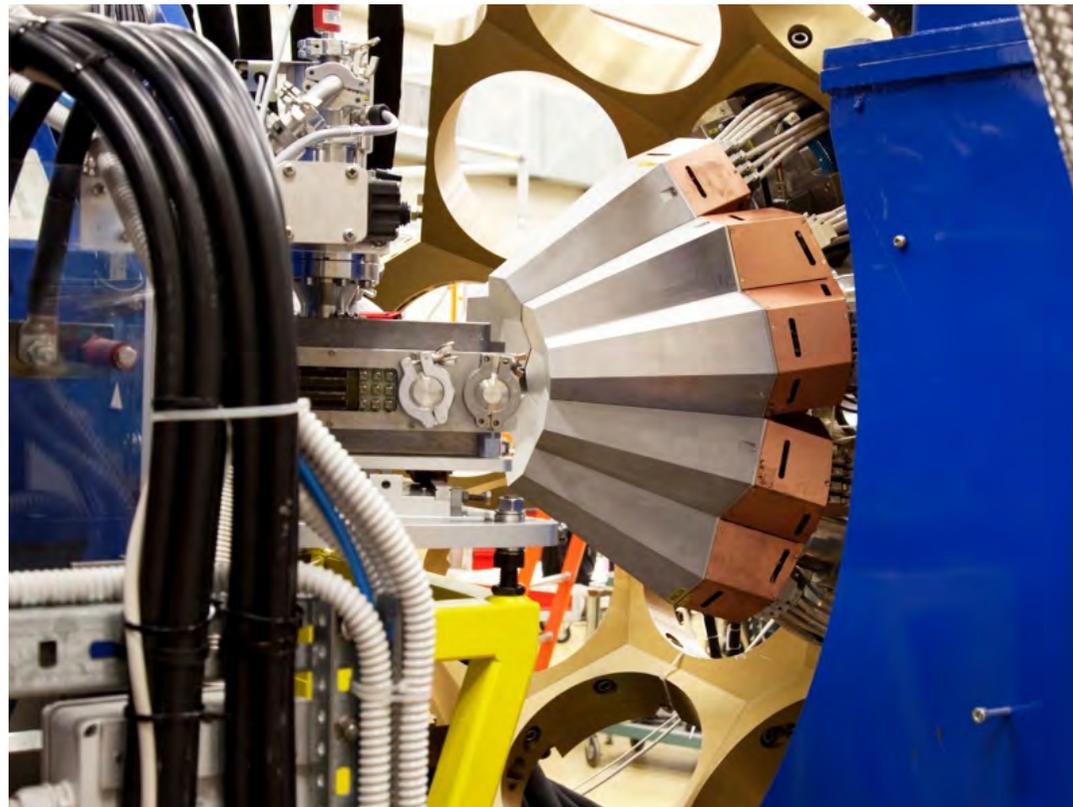
Carta d'identità dei LNL

Missione:

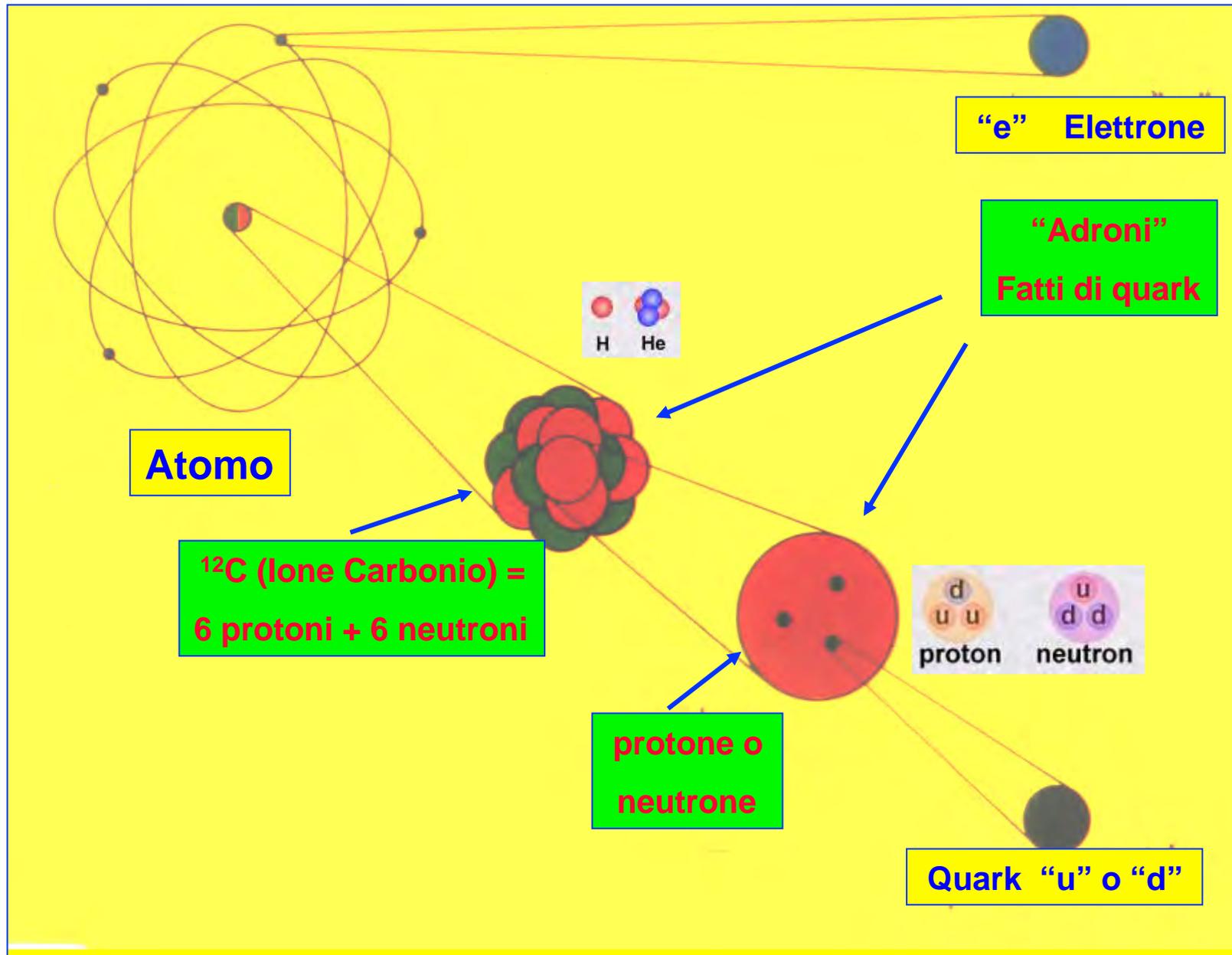
- Fisica nucleare e astrofisica nucleare (spettroscopia nucleare, dinamiche di reazioni)
- Tecnologie avanzate per applicazioni in fisica nucleare e multidisciplinare
- Trasferimento tecnologico

Punti di forza:

- Sviluppo di acceleratori
- Rivelatori di radiazione
- Tecnologia delle superfici



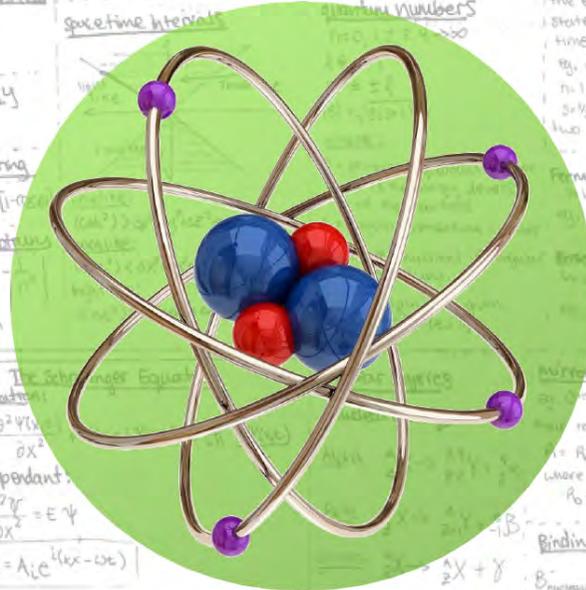
Atomo → Nucleo → Nucleoni: protoni e neutroni,
ADRONI = Fatti di quark: con legame nucleare forte]



La fisica nucleare

LA FISICA NUCLEARE È LA BRANCA DELLA FISICA CHE STUDIA IL NUCLEO ATOMICO NEI SUOI COSTITUENTI PROTONI E NEUTRONI E LE LORO INTERAZIONI.

NUCLEO



Special relativity: Lorentz shift

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$

$t = \gamma(t' + \beta x')$

$x = \gamma(x' + \beta ct')$

$\beta = \frac{v}{c}$

Energy

$E_{tot} = \gamma mc^2 = E_{kin} + mc^2$

$E_k = \gamma mc^2 - mc^2$

$\beta = \frac{v}{c} = \frac{pc}{E}$

$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$

$E^2 = (pc)^2$ massless

$E^2 = (mc^2)^2$ mass

magnetic fields

$F = qv \times B$

$r = \frac{mv}{qB}$

$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$

$\tau = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$

photoelectric effect

$hf = \phi + E_k$

$E_k = hf - \phi = \frac{hc}{\lambda} - \phi$

photon energy

$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

Compton scattering

$\lambda_c - \lambda_i = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$

hydrogen spectrum

$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right]$

for $n > m$

de Broglie Cont.

For relativistic

$\lambda = \frac{h}{mc \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$E_k = \gamma mc^2 - mc^2$

$E_0 = mc^2$

Heisenberg uncertainty

$\Delta p \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}$

$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$

wave packets

$K = \frac{1}{\lambda}$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$

phase velocity

$V_p = \frac{\omega}{K}$

group velocity

$V_g = \frac{d\omega}{dK} = \frac{dE}{dp}$

leads to the Heisenberg uncertainty principle

Angular momentum

$L = \hbar m_l$

$L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$

The Schrodinger Equation

Full equation

$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V \psi = E \psi$

Time independent

$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$

$\psi(x,t) = A e^{i(kx - \omega t)}$

$\frac{d^2 \psi}{dx^2} = -K^2 \psi(x) \rightarrow \psi(x) = A e^{ikx} + B e^{-ikx}$

normalization condition

$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi dx = 1$ ← must be 1 re. 100% chance of finding it.

$|\psi|^2 = \text{probability density}$

Energy inside an infinite square well

$E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m} \left[\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right]$

Pauli exclusion principle

no two electrons can be in the exact same physical state at exactly the same time.

eg. ground state

$n=1, l=0, m=0, s=1/2$, this means only two electrons with $l=0$

nuclear-nuclei

radii are given by

$R = R_0 A^{1/3}$

where

$R_0 = 1.2 \pm 0.2 \text{ fm}$

Binding Energy

$B_{\text{binding}} = Z m_p c^2 + N m_n c^2 - M_A c^2$

where:

Z = number of protons

N = number of neutrons

m_p = proton mass

m_n = neutron mass

M_A = atomic mass

Iron-56 is the most stable atom known, everything eventually decays into it.

This is why stars collapse.

Radioactivity

units

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decay/s}$

$N = N_0 2^{-t/t_{1/2}}$

where:

$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ N_0 = original amount

N = after decay

$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \ln \left(\frac{N_0}{N} \right)$

The standard model

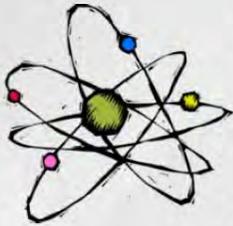
works most of the time, but has holes in it.

Quarks	u	c	t	χ photon
	no charm	charm	top	
Leptons	d	s	b	γ photon
	down	strange	bottom	
neutrinos	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z photon
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	
bosons	e^-	M	T	W photon
	electron	muon	tau	

Force

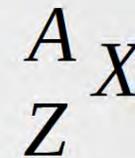
La fisica nucleare

DI COSA E' FATTO UN NUCLEO E QUANTO PESA?



Ricapitoliamo:

- Il nucleo contiene Z protoni e A-Z neutroni
- In un atomo neutro attorno al nucleo orbitano Z elettroni
- Z = numero atomico , A= numero di massa ($A=N+Z$)



A = numero di massa (gr/mole)

$$m_A [gr] = \frac{A}{N_A}$$

Numero di massa

Numero di Avogadro

Qualche numero...

1 mole (= 6.022×10^{23}) di ^{12}C pesa 12 gr (trascurando il peso degli elettroni...)

Peso di 1 nucleo di ^{12}C = $12 \text{ gr} / 6.022 \times 10^{23} = 1.99 \times 10^{-23} \text{ gr}$

Peso di 1 nucleone = $1.99 \times 10^{-23} \text{ gr} / 12 = 1.66 \times 10^{-24} \text{ gr} = 1 \text{ u.m.a}$

(u.m.a = unità di massa atomica)

- Il peso di 1 protone è di circa $1.66 \times 10^{-24} \text{ gr}$
- Il peso di 1 nucleo di ^9Be è di circa $9 \text{ gr} / 6.022 \times 10^{23} = 1.49 \times 10^{-23} \text{ gr}$
- Il peso di 1 nucleo di ^{235}U è di circa $235 \text{ gr} / 6.022 \times 10^{23} = 3.09 \times 10^{-22} \text{ gr}$

La fisica nucleare

ENERGIA DI LEGAME

Se sappiamo di quanti nucleoni è formato un nucleo possiamo sommare le masse dei nucleoni per valutare la massa del nucleo:

Es. Nucleo di Berillio: ${}^9\text{Be}$ (5 neutroni + 4 protoni)

$$M(\text{Be}) = 5 \times 939.57 \text{ MeV} + 4 \times 938.27 \text{ MeV} = \underline{8450.93 \text{ MeV}}$$

Ora partiamo dal peso molecolare che abbiamo visto prima:

$$A(\text{Be}) = 9 \text{ gr/mole} \rightarrow M^*({}^9\text{Be}) = (9/6.022 \times 10^{23}) \text{ gr} = 1.49 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

- convertiamo la massa in MeV con l'equazione di Einstein ($E = mc^2$)

$$M^*({}^9\text{Be}) = 1.49 \times 10^{-26} \text{ kg} \times (9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2) = \\ 1.34 \times 10^{-9} \text{ J} / 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} = \underline{8381.25 \text{ MeV}}$$

Come mai questa differenza di circa 70 MeV ? (a.k.a. **DIFETTO DI MASSA**)

La fisica nucleare

ENERGIA DI LEGAME

Il “difetto di massa” è legato all'energia di legame B_E

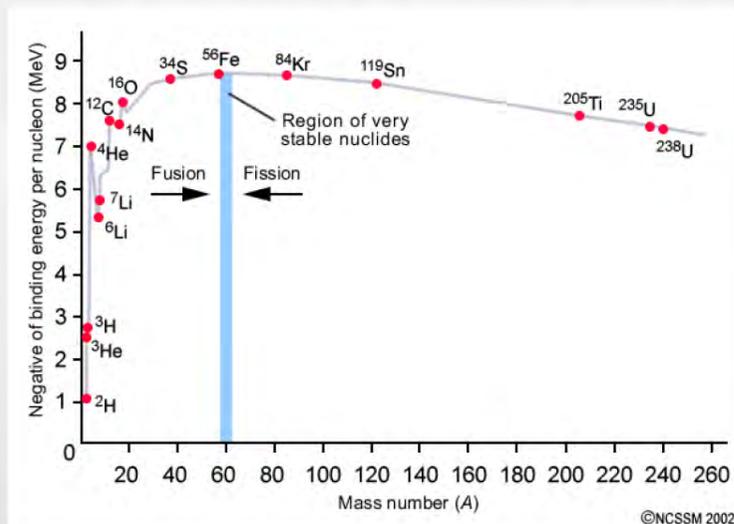
B_E = energia di legame del nucleo (Binding Energy)

→ corrisponde al lavoro necessario per separare tutti i nucleoni gli uni dagli altri

Nel nostro esempio, B_E (Be) = 70 MeV energia di legame del nucleo di Berillio.

Quanto è l'energia di legame per nucleone?

Nel caso del Berillio, B_E (Be)/A = 70 MeV/9 = 7.8 MeV/nucleone, ma in generale dipende dal nucleo



La fisica nucleare

DENSITA' NUCLEARE

Quanto è la densità nucleare?

$$\rho_{nucleo} = \frac{m_{nucleo}}{V_{nucleo}} = \frac{Z m_p + (A - Z) m_n}{\frac{4}{3} \pi (r_0 A^{\frac{1}{3}})^3} \sim \frac{Z m_p + A m_p - Z m_p}{\frac{4}{3} \pi (r_0 A^{\frac{1}{3}})^3}$$

$$\rho_{nucleo} = \frac{A m_p}{\frac{4}{3} \pi (r_0^3 A)} = \frac{m_p}{\frac{4}{3} \pi (r_0^3)} \Rightarrow$$

La densità nucleare non dipende da A!

$$\rho_{nucleo} = k \sim 2.3 \times 10^{14} \frac{gr}{cm^3}$$

Per avere la stessa densità la Terra dovrebbe avere un raggio di circa 190 m!

La fisica nucleare

LA FISICA DEL PICCOLO

Quando parliamo di nuclei o comunque di dimensioni nucleari dobbiamo ricorrere ad un tipo di fisica diversa da quella che impariamo nei primi anni di scuola superiore. Il mondo nucleare è descritto da:

- 1) Meccanica quantistica
- 2) Relatività
- 3) Elettromagnetismo



Handwritten mathematical notes and diagrams illustrating quantum mechanics concepts, specifically the harmonic oscillator and wave functions.

Key equations and diagrams include:

- Wave function normalization: $\langle \phi_n | \phi_n \rangle = \langle \phi_n | \int dx |x\rangle \langle x| \phi_n \rangle = \dots$
- Wave function forms: $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{1}{\pi}} \cos(\frac{\pi}{2}(2n-1)x)$; $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sin(\frac{\pi}{2}nx)$
- Energy levels: $E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\pi^2}{L^2} (2n-1)^2$, $n=1, 2, \dots$
- Hamiltonian: $\hat{H} \psi_n(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial_x^2 \psi_n(x) + V(x) \psi_n(x) = E_n \psi_n(x)$
- Potential: $V(x) = \frac{1}{2} m \omega^2 (x-x_0)^2$
- Ground state wave function: $|\psi_0\rangle = \frac{1}{(\pi \alpha^2)^{1/4}} e^{-\frac{x^2}{2\alpha^2}}$
- Expectation values: $\langle x \rangle = \frac{\hbar}{m\omega}$; $\langle x^2 \rangle = \frac{\hbar}{2m\omega}$
- Complex numbers: $\hat{H} = (a\hat{p} + ib\hat{x})(a\hat{p} - ib\hat{x}) = \dots$
- Diagram of a Gaussian wave packet centered at x_0 with width α .

La fisica nucleare

LE INTERAZIONI FONDAMENTALI NEL NUCLEO

Bilancio delle forze:

Attrazione gravitazionale: due protoni alla distanza di $2r_0 = 2.4$ fm si ATTRAGGONO con una forza:

$$F_g = G \frac{m_p \times m_p}{(2r_0)^2} = 6.7 \times 10^{-11} \frac{(1.66 \times 10^{-27})^2}{(2.4 \times 10^{-15})^2} \approx 3.2 \times 10^{-35} \text{ N}$$

Repulsione elettrica: due protoni alla distanza di $2r_0 = 2.4$ fm si RESPINGONO con una forza :

$$F_e = \frac{e \times e}{4\pi\epsilon_0(2r_0)^2} = \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{4\pi \times 8.8 \times 10^{-12} \times (2.4 \times 10^{-15})^2} \approx 40 \text{ N}$$

Le forze repulsive Coulombiane sono enormemente più forti della forza di gravità!
Ma allora: Chi tiene insieme il nucleo???

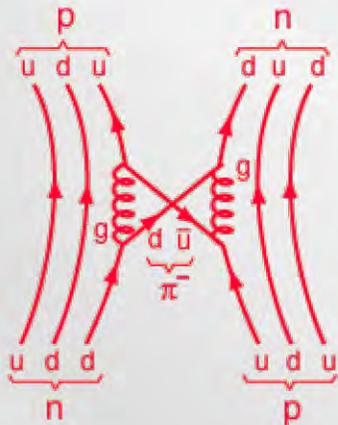
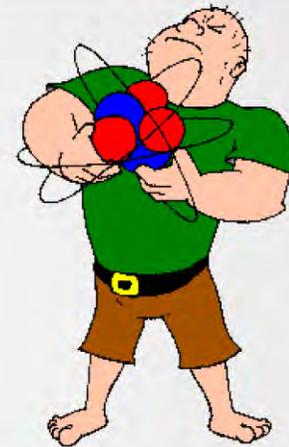
La fisica nucleare

LE INTERAZIONI FONDAMENTALI NEL NUCLEO

Nel nucleo deve esistere una forza attrattiva più forte di quella Coulombiana... Esiste e si chiama **forza FORTE**

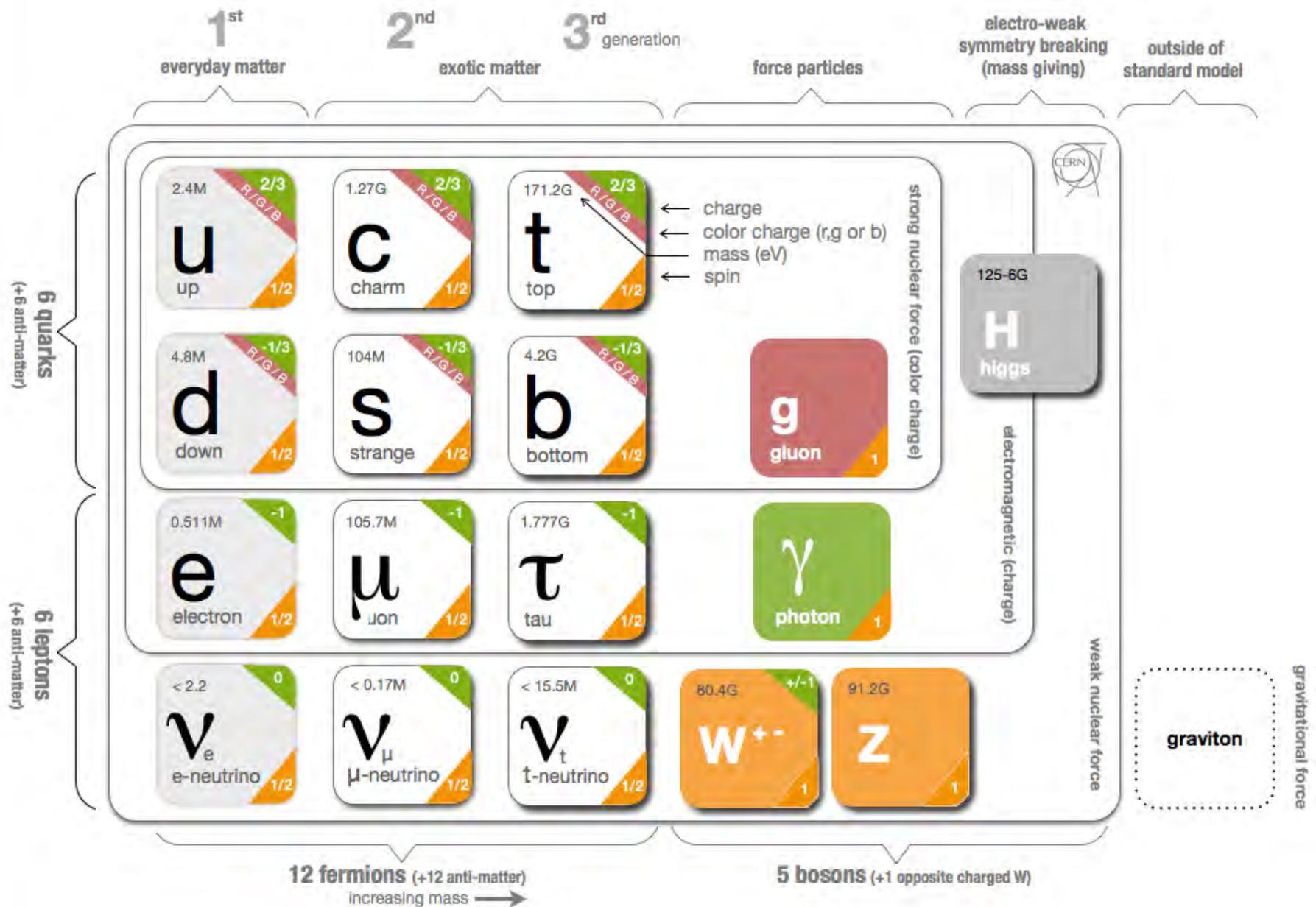
I quarks interagiscono tra loro attraverso lo scambio di "gluoni", i "vettori" della forza forte

I quarks all'interno di un nucleone interagiscono con quarks appartenenti ad altri nucleoni



Che cosa si scambiano? Si scambiano "colore", un nuovo grado di libertà (come la carica, lo spin, il momento angolare...)

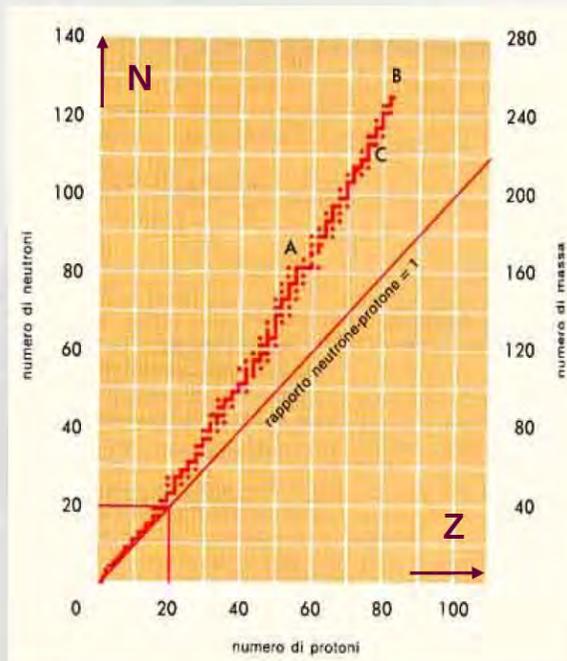
MODELLO STANDARD : Fermioni (Costituenti) e Bosoni (Mediatori)



La fisica nucleare

QUANTI NEUTRONI CI VOGLIONO NEL NUCLEO?

Né troppi,
né troppo
pochi!



La forza nucleare p-p, p-n, n-n è uguale. Quindi il rapporto tra protoni e neutroni nel nucleo non dovrebbe influenzarne la stabilità, tranne che per la repulsione elettrostatica tra i protoni.

Invece si verifica che in natura esistono solo

- nuclei leggeri ($Z < 20$) con $N \sim Z$
- nuclei pesanti ($Z > 20$) con $N > Z$

Altri nuclei non esistono, o – se prodotti – decadono spontaneamente dopo un certo tempo, emettendo particelle, o trasformandosi in altre specie, o spezzandosi in nuclei più piccoli

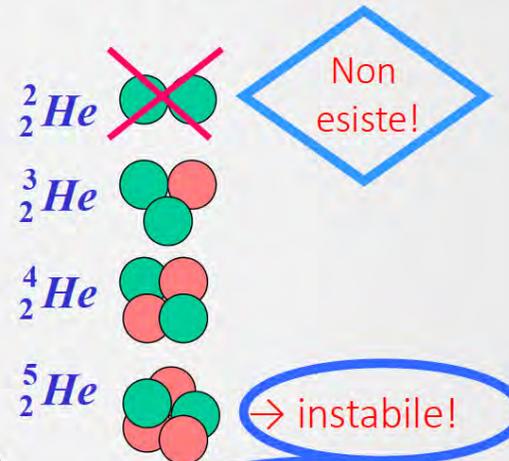
La fisica nucleare

UNO SGUARDO AI NUCLEI LEGGERI

Idrogeno (H): Z=1



Elio (He): Z=2



La forza nucleare non basta ancora per spiegare come mai alcuni nuclei siano legati mentre altri siano instabili: ci deve essere un'altra forza responsabile dei **decadimenti nucleari...**

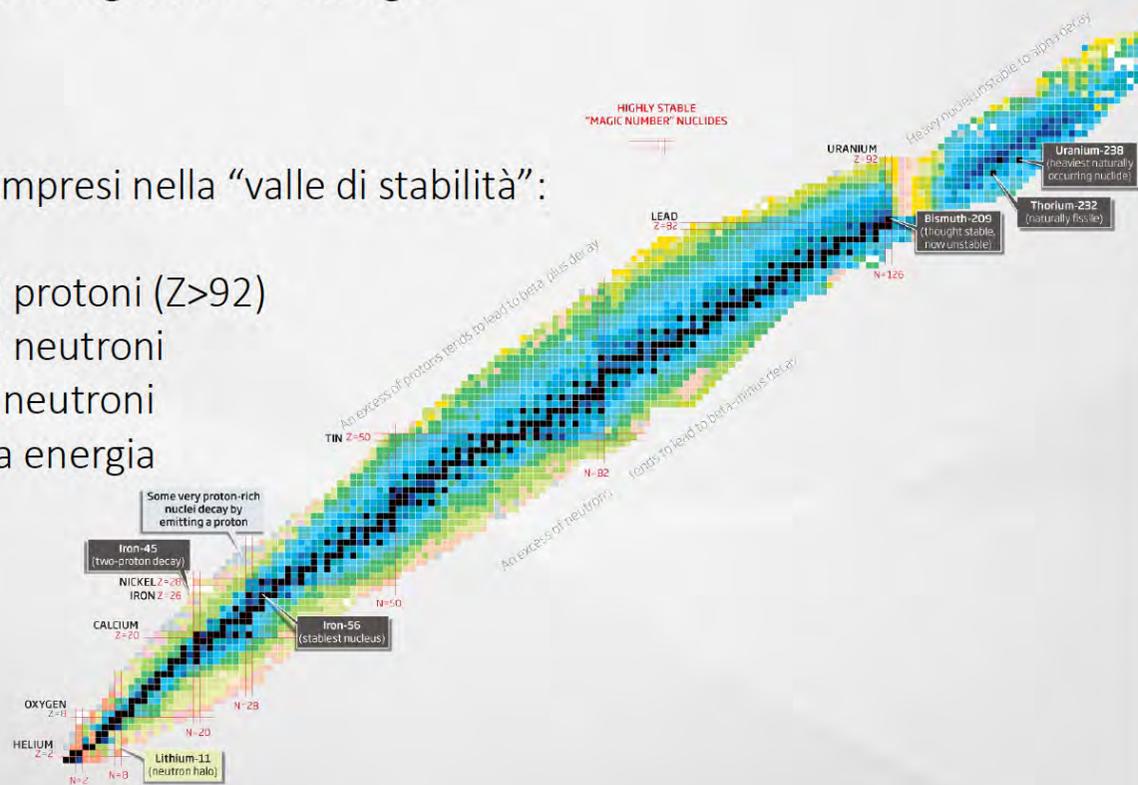
La fisica nucleare

RADIOATTIVITÀ

Radioattività = trasformazione spontanea o artificiale dei nuclei con emissione di radiazione:
Corpuscolare → particelle
Elettromagnetica → energia

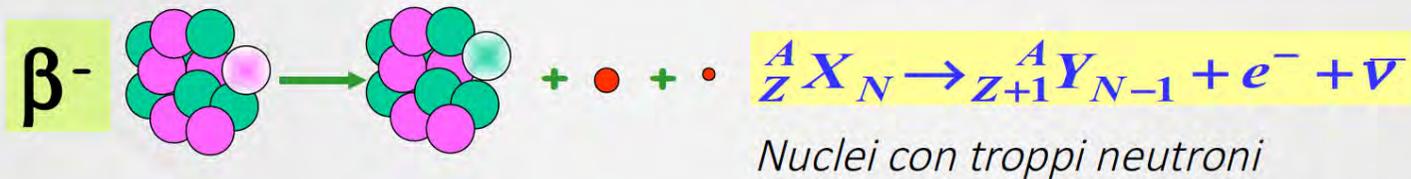
Quando?

- Nei nuclei non compresi nella “valle di stabilità”:
- nuclei con troppi protoni ($Z > 92$)
- nuclei con troppi neutroni
- nuclei con pochi neutroni
- nuclei con troppa energia



La fisica nucleare

DECADIMENTI RADIOATTIVI



Acceleratori ai LNL

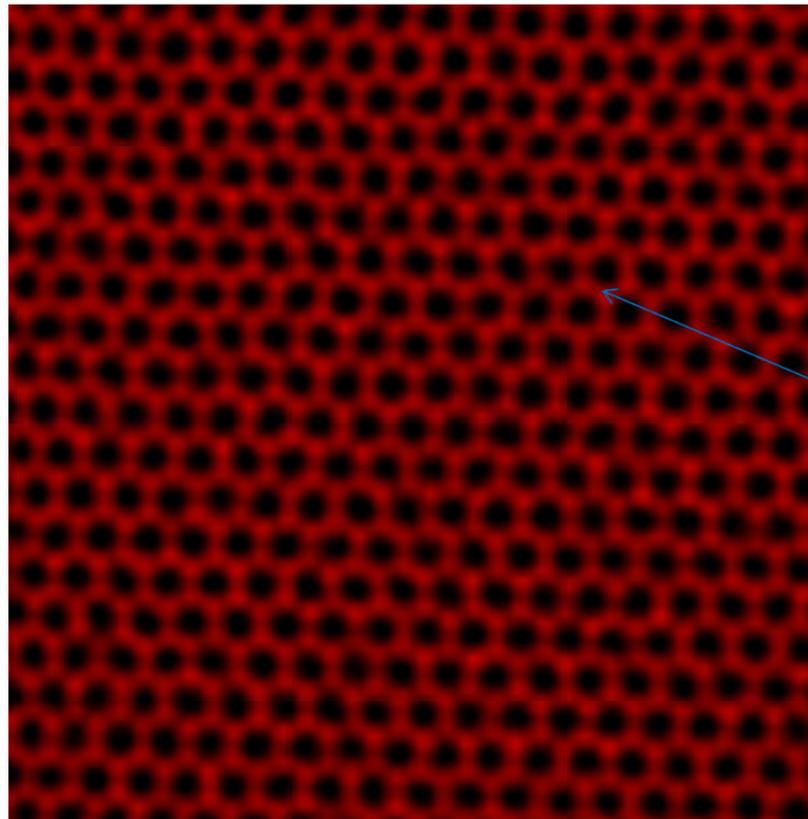


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro



Gli acceleratori

Grafene: Strato monoatomico di atomi di carbonio



Atomo di C

Grafene visto al SEM

Gli acceleratori

Radioattività alfa:

Nuclei di Elio di 'alta' energia $\sim 5 \text{ MeV}$ prodotti da disintegrazioni nucleari spontanee

Scoperta prima dell'esperimento del 1911

Come nel microscopio elettronico:

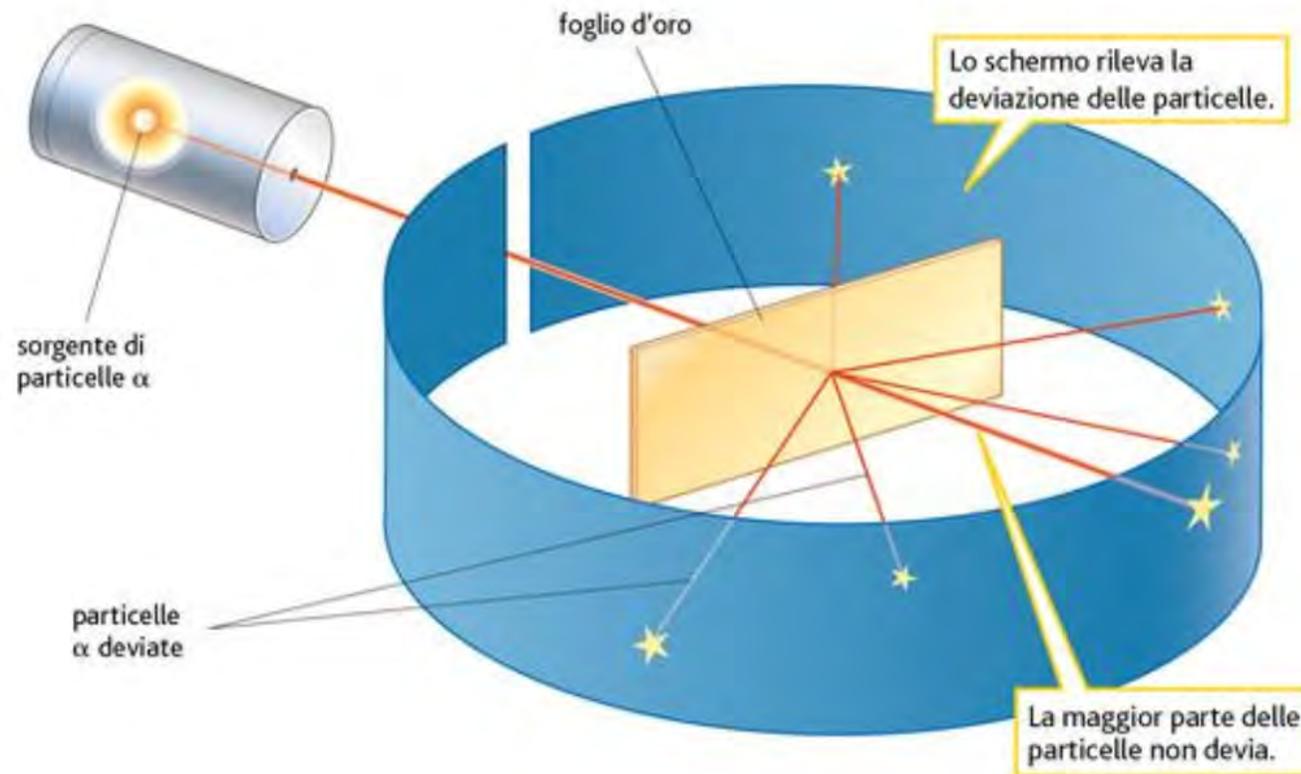
Proiettili carichi molto energetici, usati per sondare la struttura interna dell'atomo

Perche' le alfa?

Non erano disponibili elettroni di energia altrettanto elevata

Gli acceleratori

La scoperta del nucleo: Rutherford, Geiger, Marsden 1911

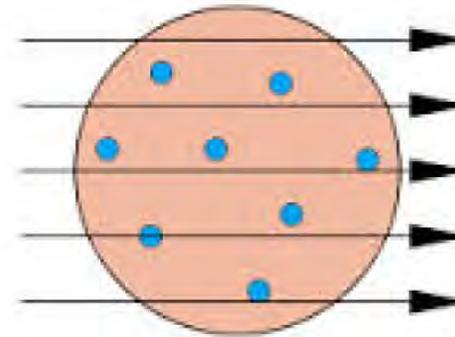


Uso innovativo della radioattività alfa,
scoperta da Rutherford pochi anni prima

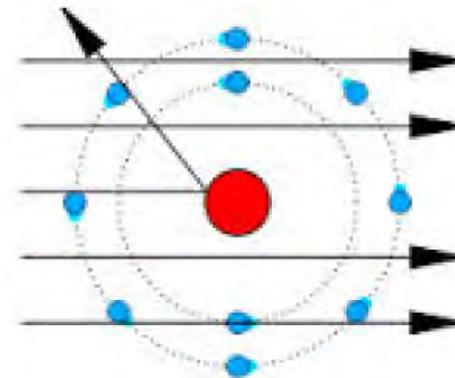
Gli acceleratori

Trovata consistenza con ipotesi di nucleo 'puntiforme' (modello 'planetario'), inconsistenza con ipotesi di carica positiva 'diffusa' (modello a 'pudding')

Modello a pudding:
Panettone sferico di carica +va
Elettroni puntiformi sparsi

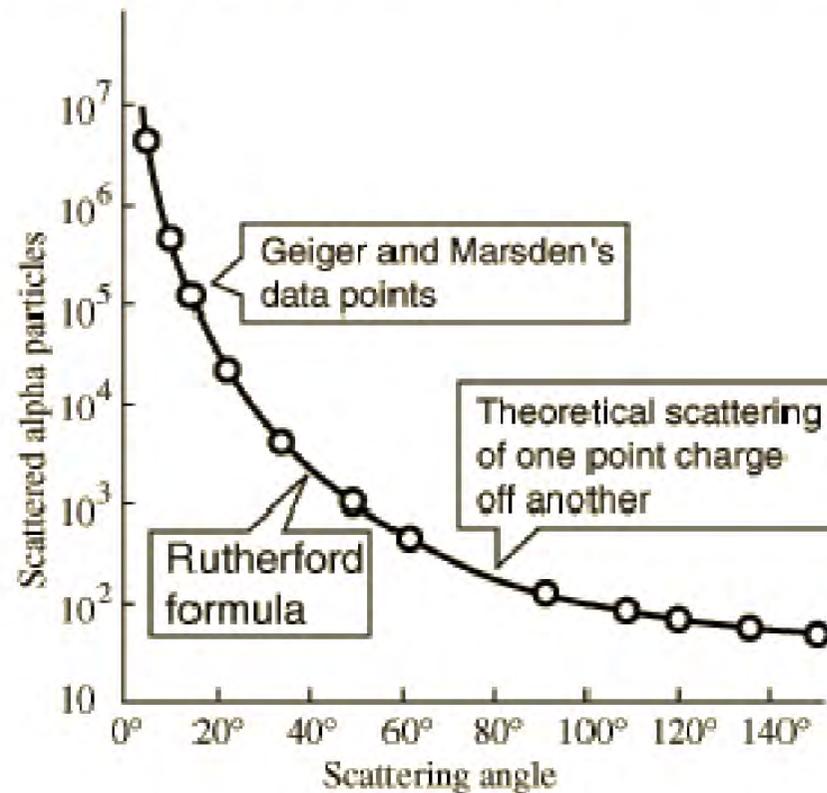


Modello planetario:
Nucleo ~ puntiforme di carica +va
Elettroni puntiformi in orbita



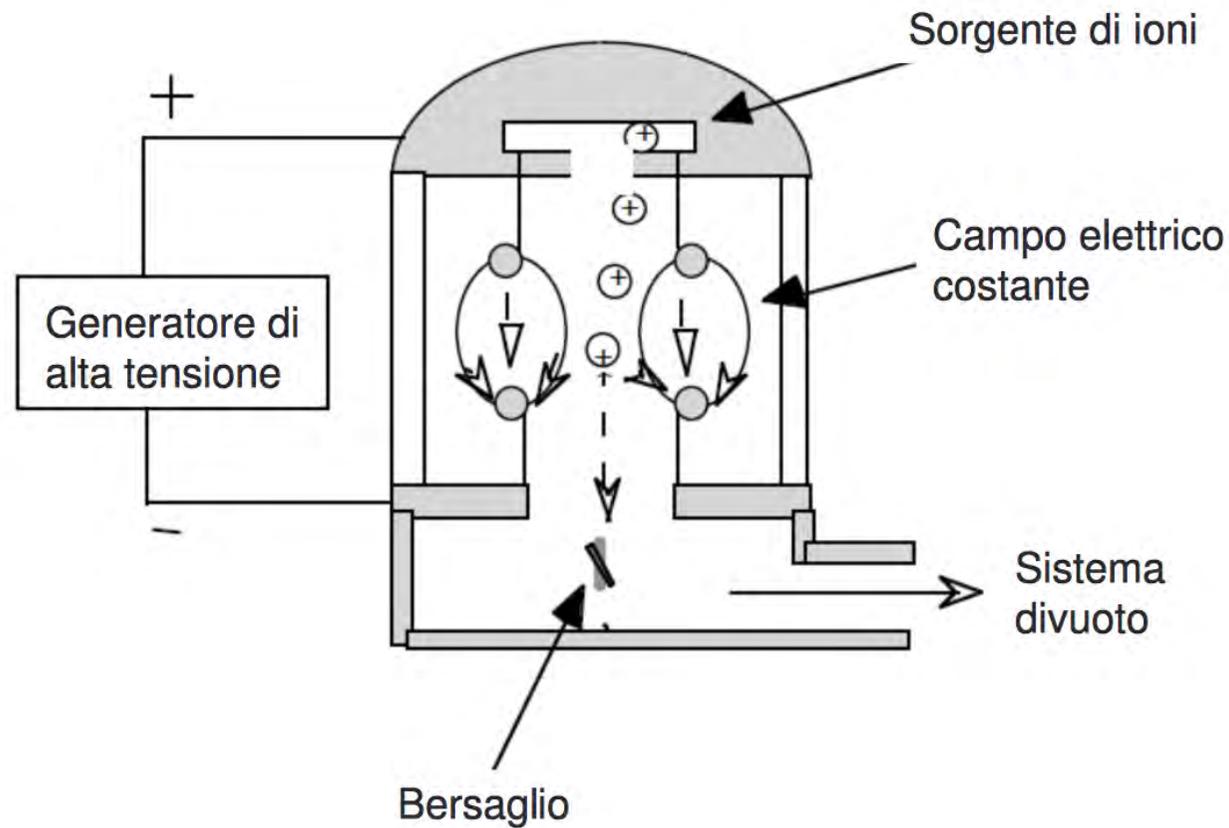
Gli acceleratori

Nessun angolo max. nel modello planetario
Confronto fra dati sperimentali e previsione:



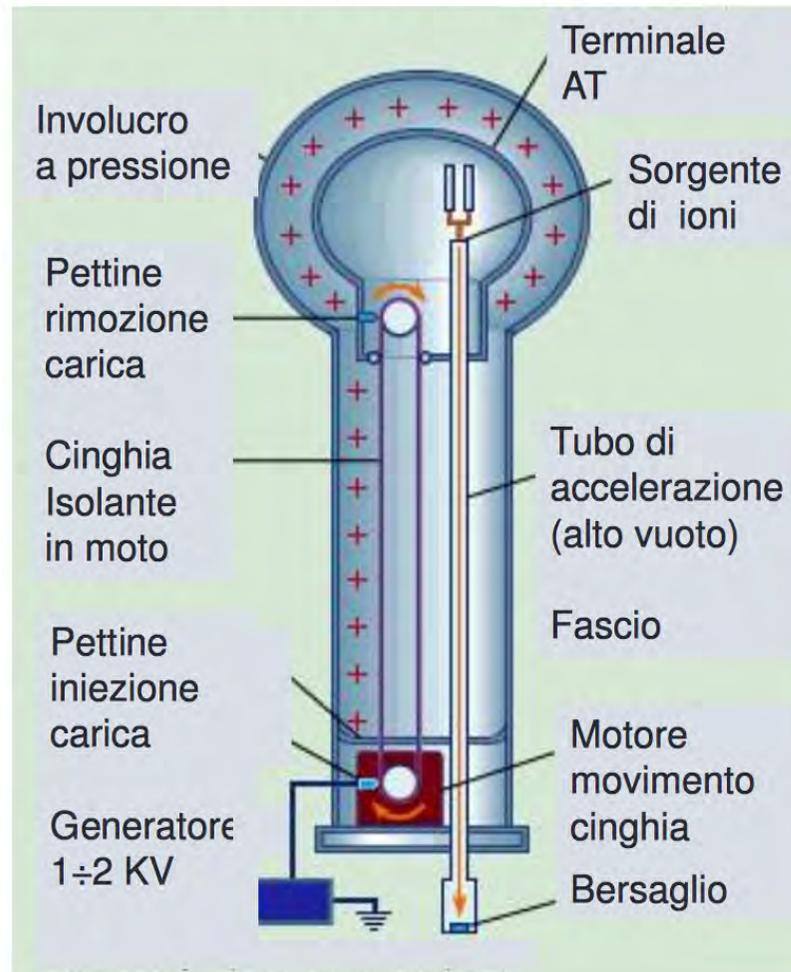
Gli acceleratori

Schema generale di un acceleratore elettrostatico



Gli acceleratori

Acceleratore elettrostatico di Van der Graaf



Cinghia isolante in moto caricata/scaricata elettrostaticamente (Strofinio con pettini metallici)

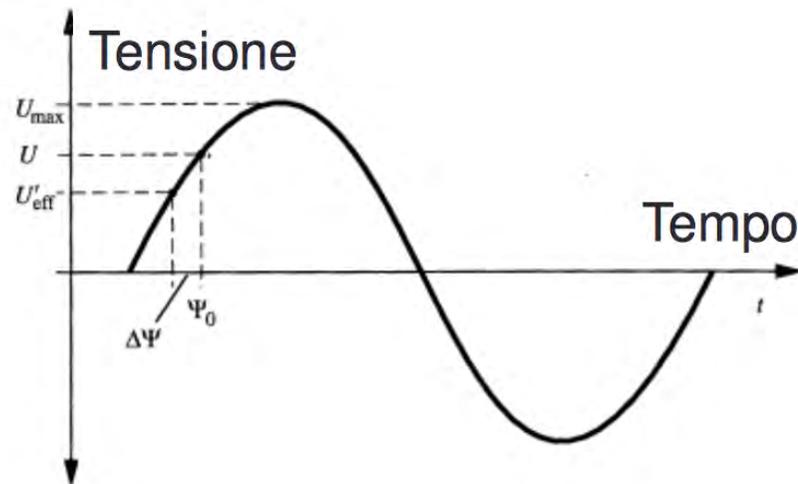
→ Trasporto di carica da generatore a terminale alta tensione

→ Aumento del potenziale elettrostatico del terminale AT fino a ~ 20 MV max.

Gli acceleratori

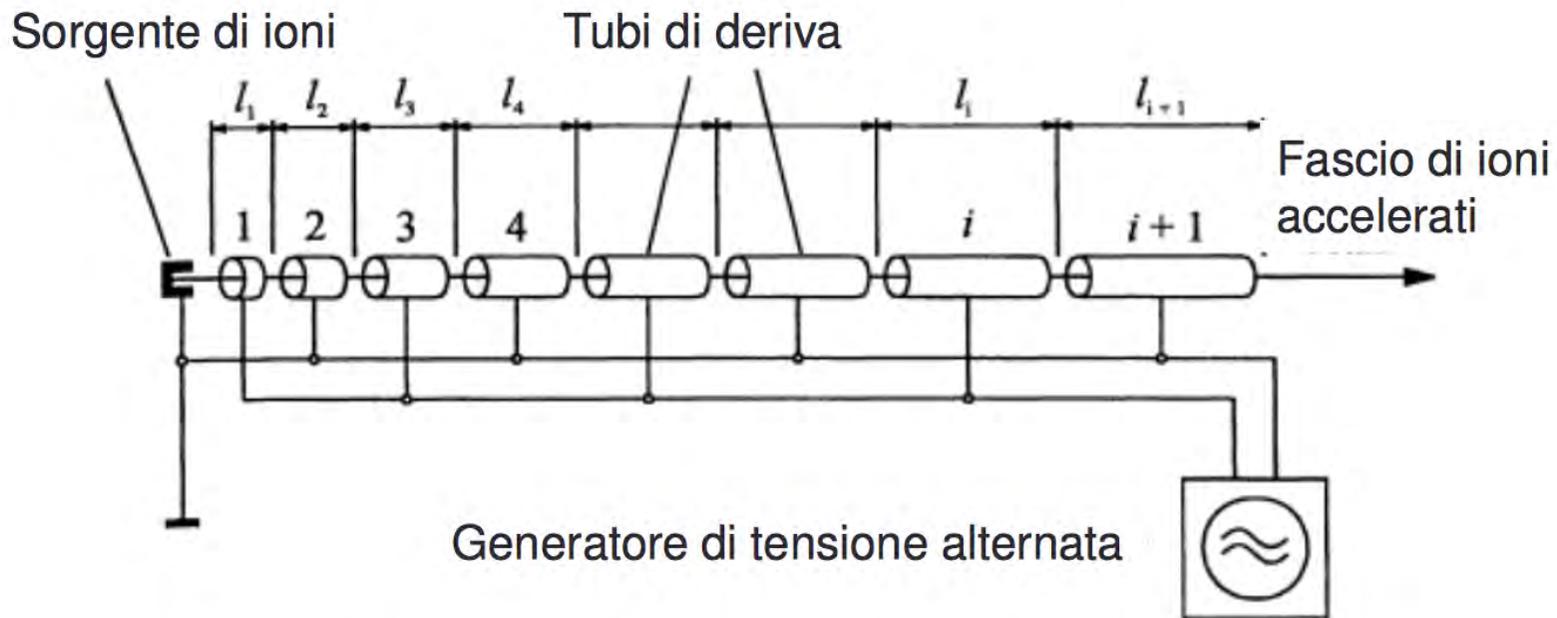
Nuovo schema: Acceleratore lineare.

Consiste in una serie di tubi metallici collegati alternativamente ai poli $+$ e $-$ di una tensione alternata. Quando una particella carica passa nello spazio fra 2 tubi viene accelerata, mentre quando passa dentro il tubo no: nel tubo non vi è alcun campo elettrico (gabbia di Faraday)



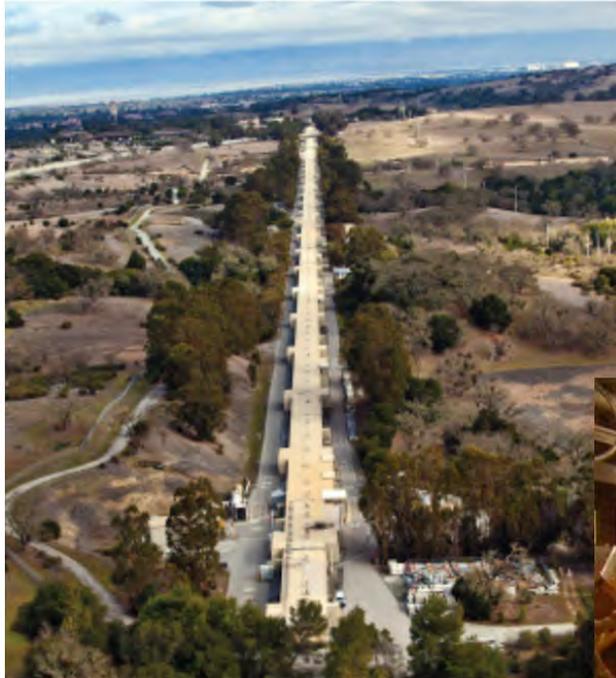
Gli acceleratori

Tensione alternata fra coppie di elettrodi



Particella carica accelerata dal campo elettrico nello spazio fra due tubi consecutivi → Incremento di velocità/energia

Gli acceleratori



SLAC – LINAC per elettroni
Lunghezza ~ 3 km
 $E < 50 \text{ GeV}$
Regime ultrarelativistico $v_{eI} \sim c$

CERN – LINAC 2 per protoni
Lunghezza ~ 40 m
 $E < 50 \text{ MeV}$
Regime non relativistico $v_p \ll c$
Primo stadio nella catena di acceleratori del CERN



Gli acceleratori

Idea per aumentare l'energia e non fare un acceleratore lunghissimo: curvare la traiettoria delle particelle, di modo che rimangano in una zona limitata e sfruttino più volte in sequenza il campo elettrico acceleratore

Primo acceleratore circolare: *ciclotrone*
(attualmente usato soprattutto in fisica medica).

Notare:

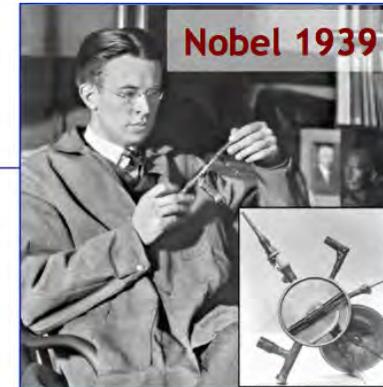
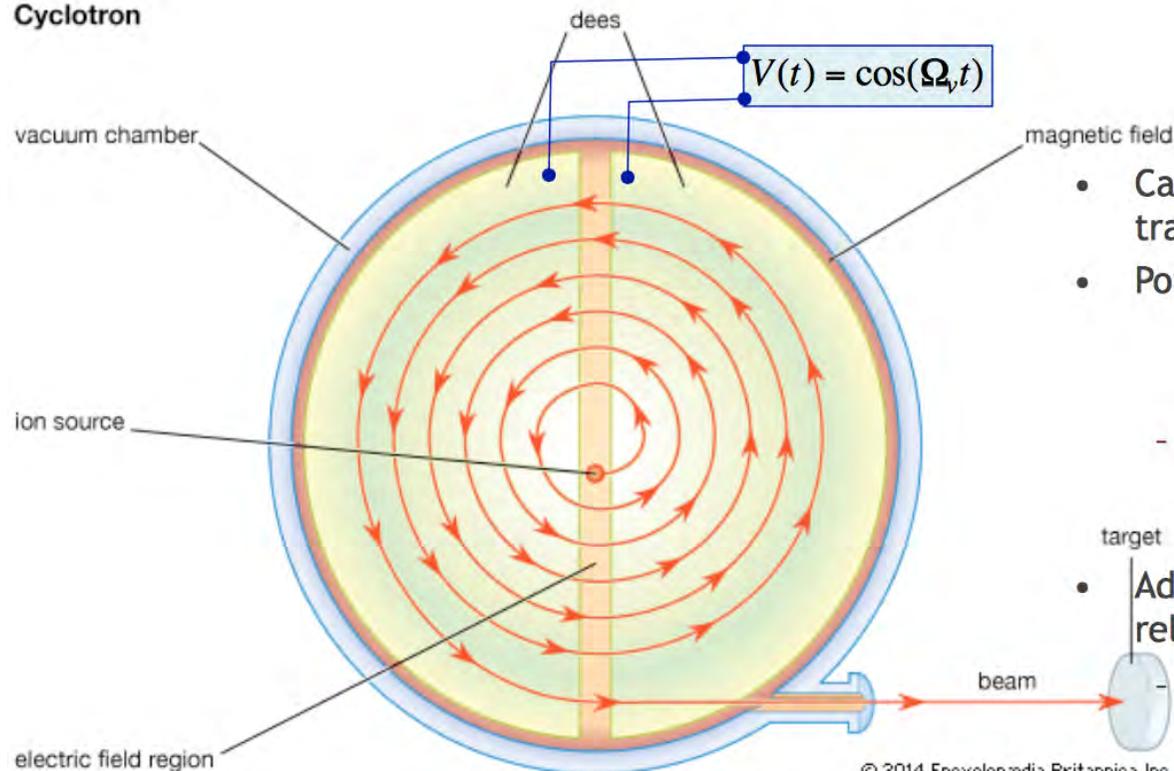
Anche con un ciclotrone ci dobbiamo limitare ad energie non relativistiche, e comunque ad energie non troppo elevate.

Gli acceleratori

Ciclotrone

- Incrementi graduali dell'energia attraverso multipli passaggi attraverso la stessa differenza di potenziale.

Cyclotron



Lawrence con il primo ciclotrone, 1932

- Campo magnetico per forzare traiettorie cicliche.
- Potenziale risonante:

$$\Omega_v = \frac{eB}{m_e}$$

- **frequenza di ciclotrone**

- Adatto per velocità non relativistiche:

richiede **frequenza variabile** $\sim 1/\gamma$

Costo del magnete $\sim R^2 \sim D^2$

© 2014 Encyclopædia Britannica, Inc.

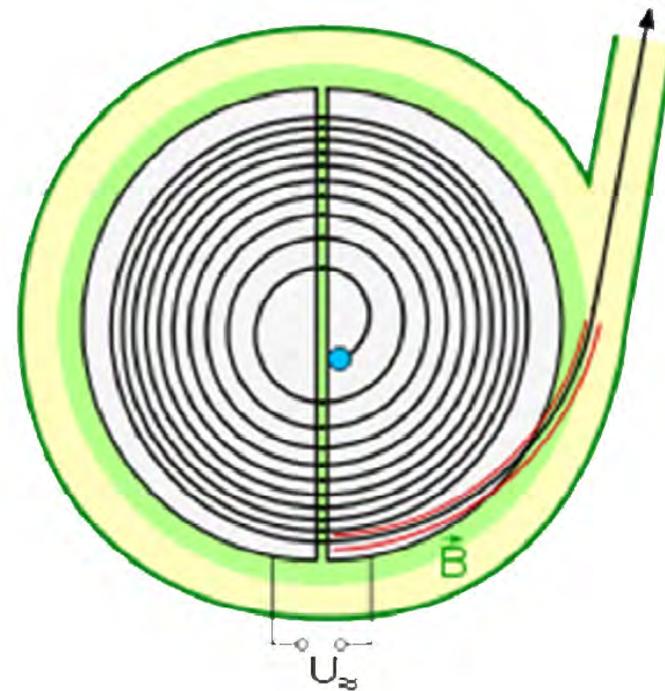
Gli acceleratori

Principio di funzionamento del ciclotrone:

Incremento di velocità con campo elettrico alternato
Traiettoria determinata da campo magnetico costante

→ Spirale a raggio crescente

Orbita ed estrazione del fascio



Gli acceleratori

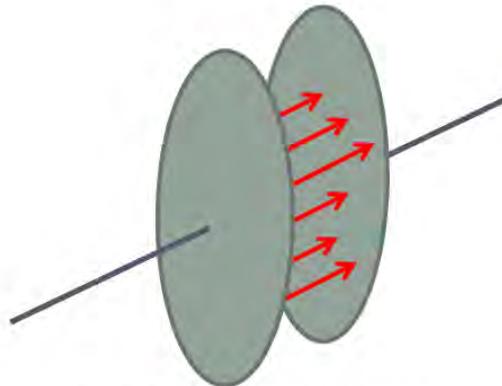
Ciclotrone da 20 MeV

Produzione di radioisotopi a vita breve usati nella diagnostica PET

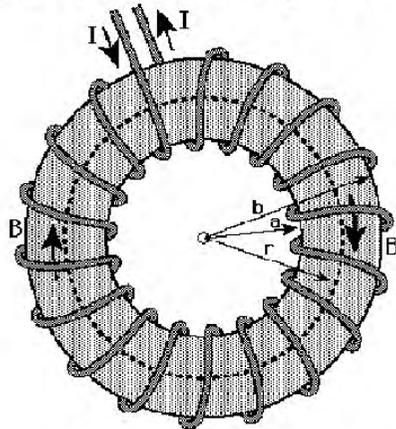


Gli acceleratori

Che cos'è una cavità a radiofrequenza?

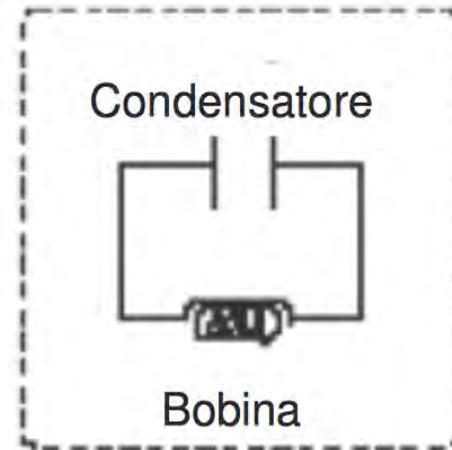


Condensatore piano



Bobina toroidale

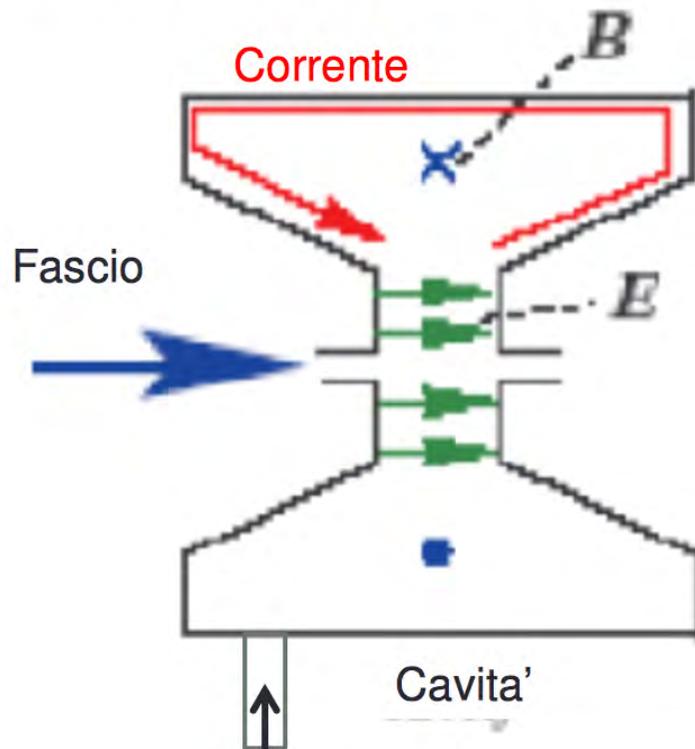
Condensatore: contiene energia del campo elettrico
Bobina: contiene energia del campo magnetico



Circuito risonante:
Scambio periodico di energia
Condensatore ↔ Bobina

Gli acceleratori

Cavita': Generalizzazione di un circuito oscillante



Alta tensione a frequenze radio fornita da generatori tramite condutture speciali (guide d'onda)

Campi E e B oscillanti
Fascio accelerato da E
Campo B serve a mantenere E in oscillazione
Funzionamento a frequenze alte
~ Centinaia di MHz

Multicavita'
per acceleratori



Gli acceleratori

Sincrotrone

- **Cavità a radiofrequenza**

forniscono il campo elettrico accelerante:

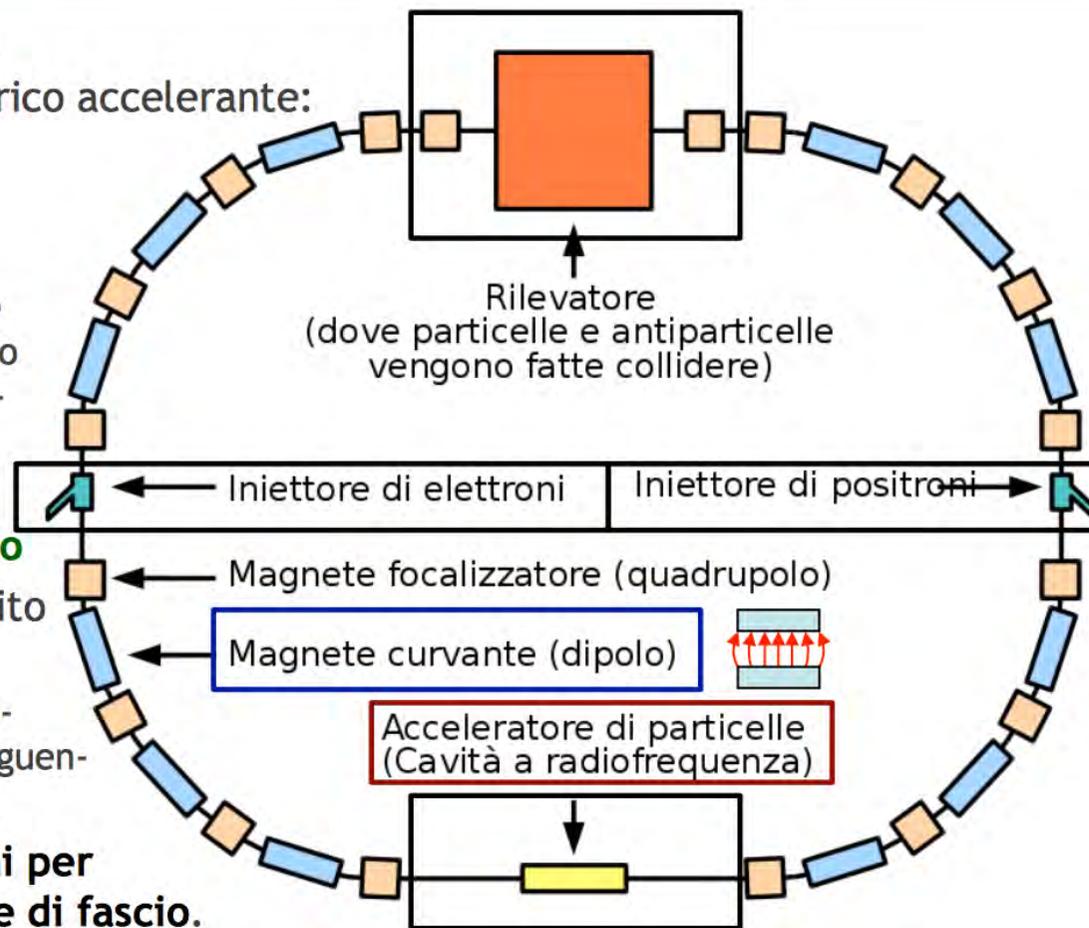
- $E = 1-10 \text{ MV/m}$
- $f = 100-500 \text{ MHz}$
- Tempo necessario per percorrere l'anello deve essere un multiplo esatto del periodo di oscillazione del campo elettrico
 $T=1/f$.

- **acceleratore sincro**

- Raggio di curvatura definito per costruzione:

- il **campo magnetico** prodotto dai **dipoli** varia seguendo l'energia del fascio.

- **Sezioni rette tra gli archi per inserire rivelatori o linee di fascio.**



Apparati sperimentali ai LNL

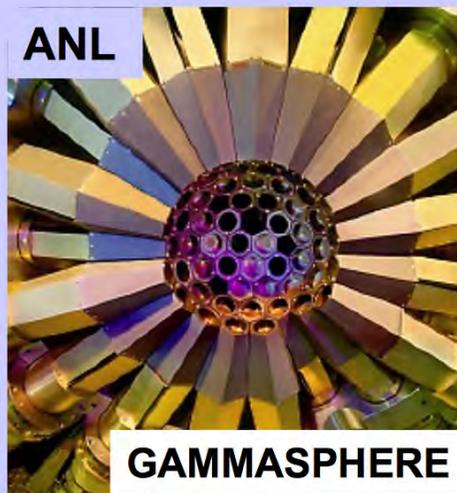
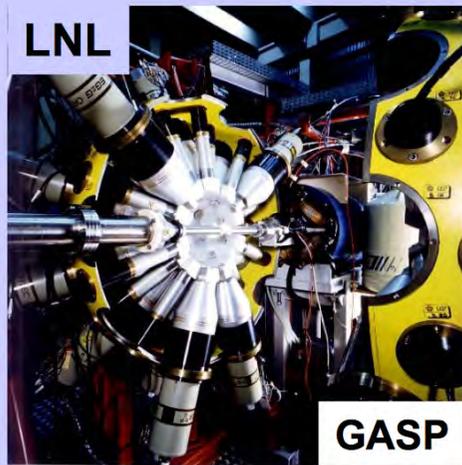


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro

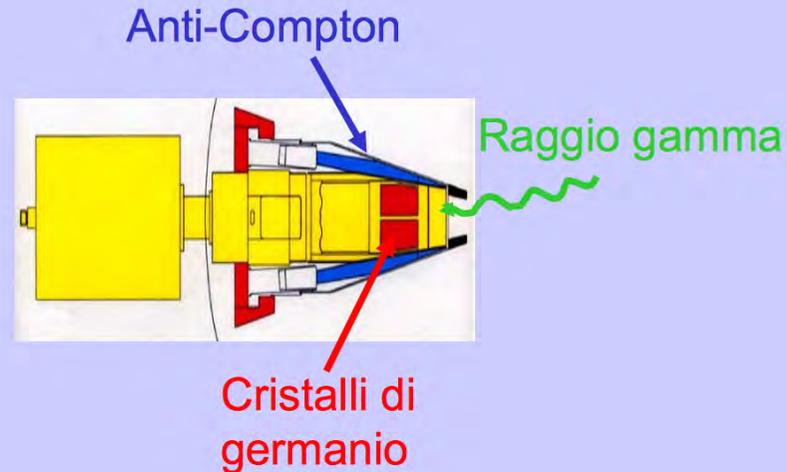


Rivelatori per Fisica Nucleare

Spettrometri gamma



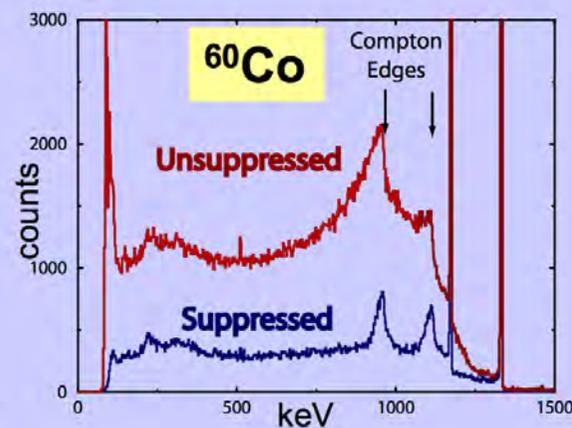
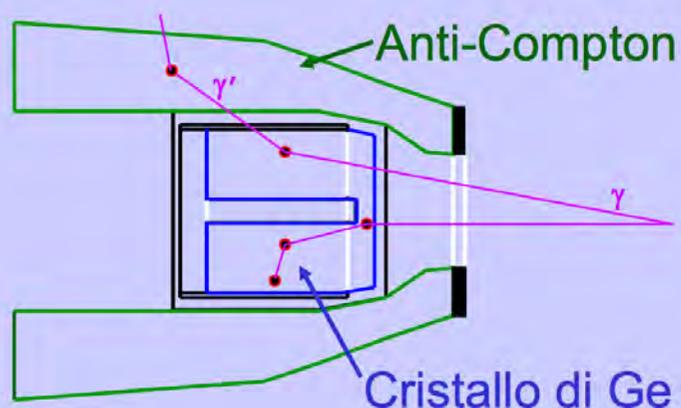
Spettrometri gamma basati su rivelatori con soppressione Compton



Rivelatori per Fisica Nucleare

Rivelatori al Ge con anti-Compton

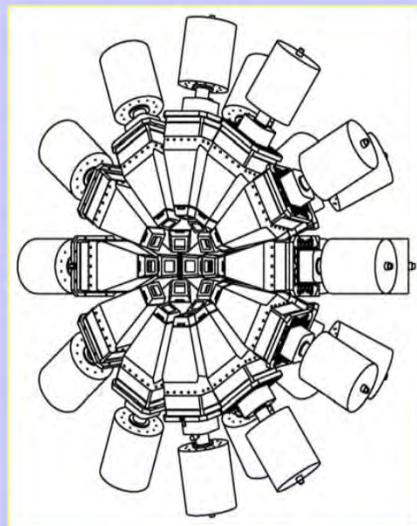
- Per migliorare la qualità degli spettri gamma, negli anni 70 si comincia ad utilizzare uno schermo anti-Compton attorno al Ge
 - Vantaggio: Il parametro peak-to-total migliora da ~30% a ~60%
 - Svantaggio: parte dell'angolo solido è occupato da questo schermo anti-Compton \Rightarrow l'efficienza diminuisce



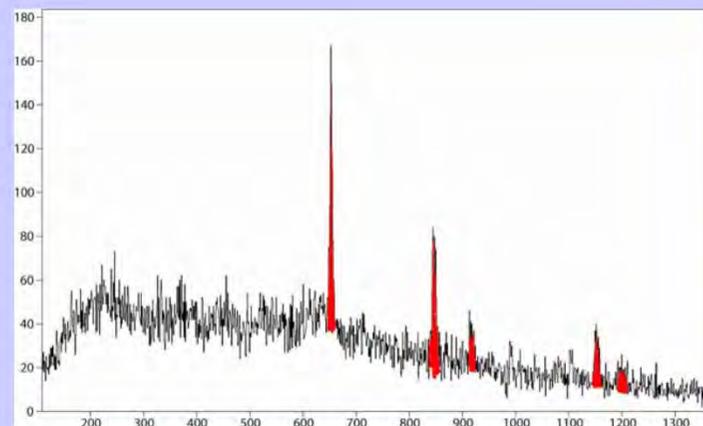
Rivelatori per Fisica Nucleare

Lo spettrometro CLARA

- 24 rivelatori al germanio, ognuno composto da 4 cristalli (Clover = Quadrifoglio) con anti-Compton.
- Misura dei raggi γ emessi nella reazione



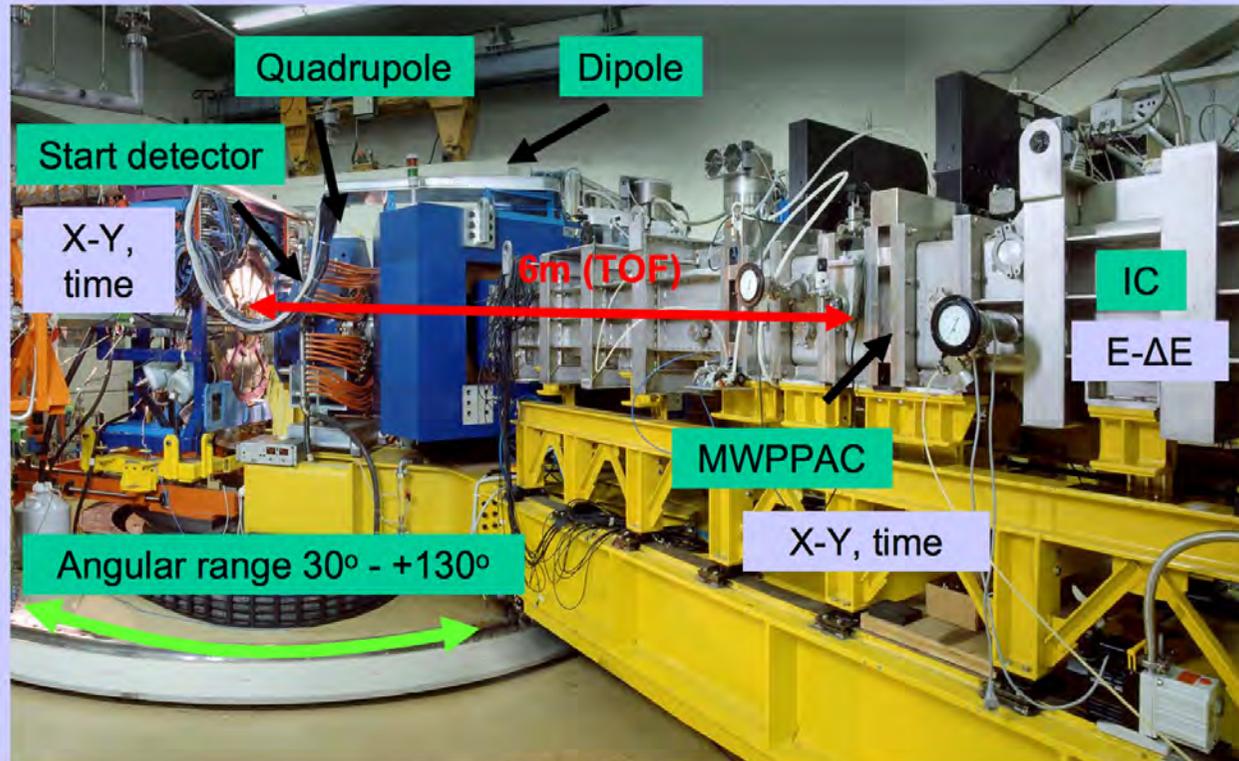
Spettrometro CLARA



Spettro γ

Rivelatori per Fisica Nucleare

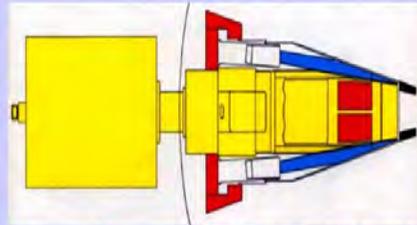
L'apparato CLARA-PRISMA



Rivelatori per Fisica Nucleare

Spettrometri: il passato, il futuro

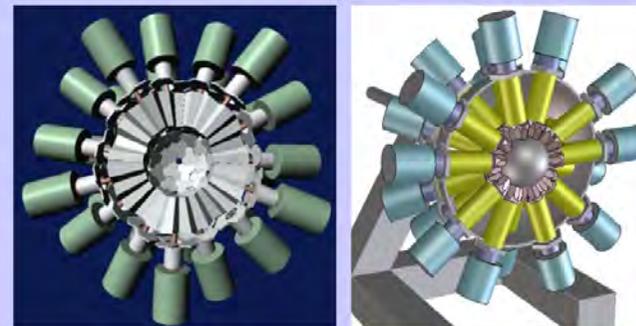
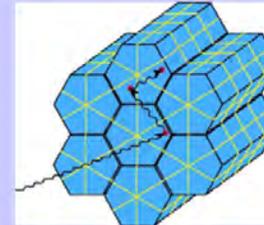
Spettrometro Anti-Compton



GASP

GAMMASPHERE

Spettrometro Tracking



AGATA

GRETA

$\varepsilon \sim 10 - 5 \%$
($M_\gamma=1 - M_\gamma=30$)



$\varepsilon \sim 40 - 20 \%$
($M_\gamma=1 - M_\gamma=30$)

Sommario delle attività



Progetti speciali

SPES *Selective Production of Exotic Species* ciclotrone per studiare la fisica nucleare

LARAMED sviluppare e studiare radioisotopi di interesse biomedicale

IFMIF *International Fusion Materials Irradiation Facility* acceleratore quadrupolo a radio frequenza

ESS *European Spallation Source* Drift Tube LINAC

MUNES sorgente di neutroni

ITALRAD fisica nucleare applicata all'ambiente

Progetti locali di fisica

Spettroscopia gamma

Fisica nucleare applicata e multidisciplinare

Radiobiologia e dosimetria

Ricerche in astrofisica (QUAX)

Attività di tecnologia

Trattamento delle superfici di materiali

Infrastruttura di calcolo (Tier2)

Divulgazione

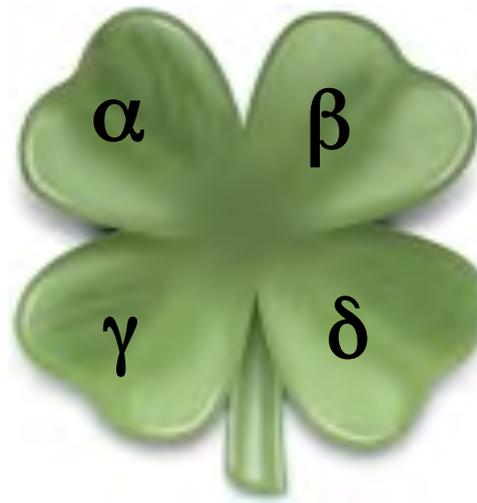
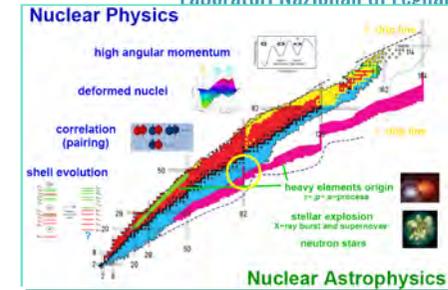
Selective Production of Exotic Species



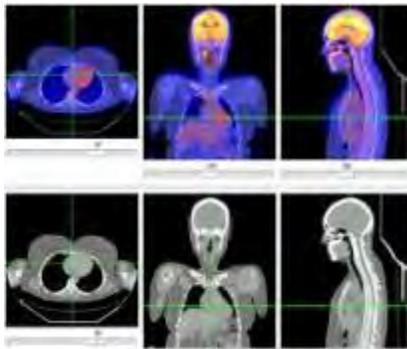
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro



Ciclotrone



**Produzione e ri-accelerazione di fasci esotici.
Ioni ricchi di neutroni prodotti da fissione
indotta da protoni su UCx (10^{13} f/s)**



**Radioisotopi per
la medicina
nucleare**

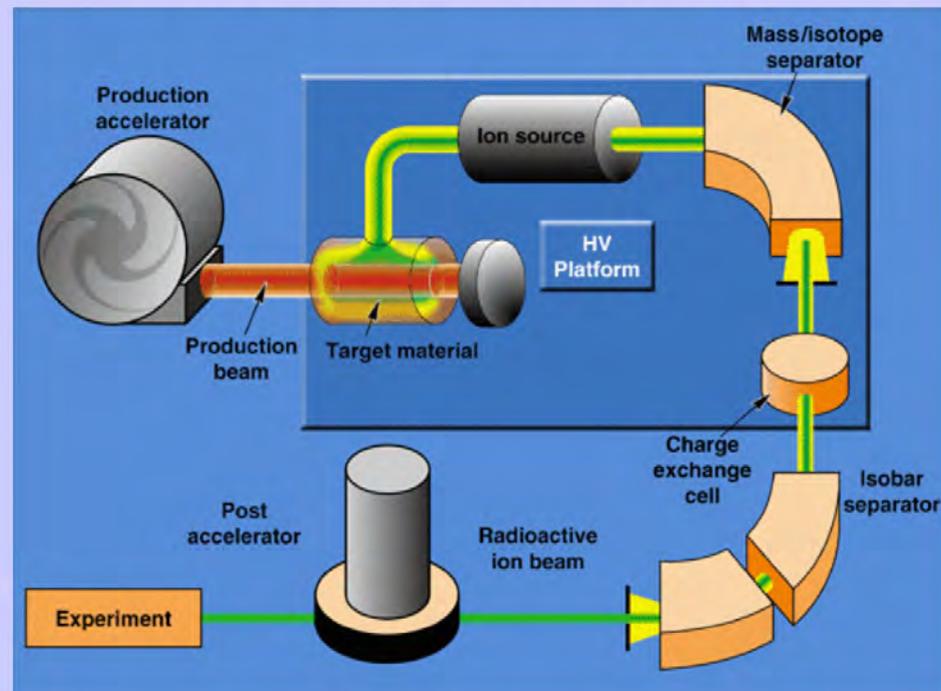


Dosimetria con neutroni

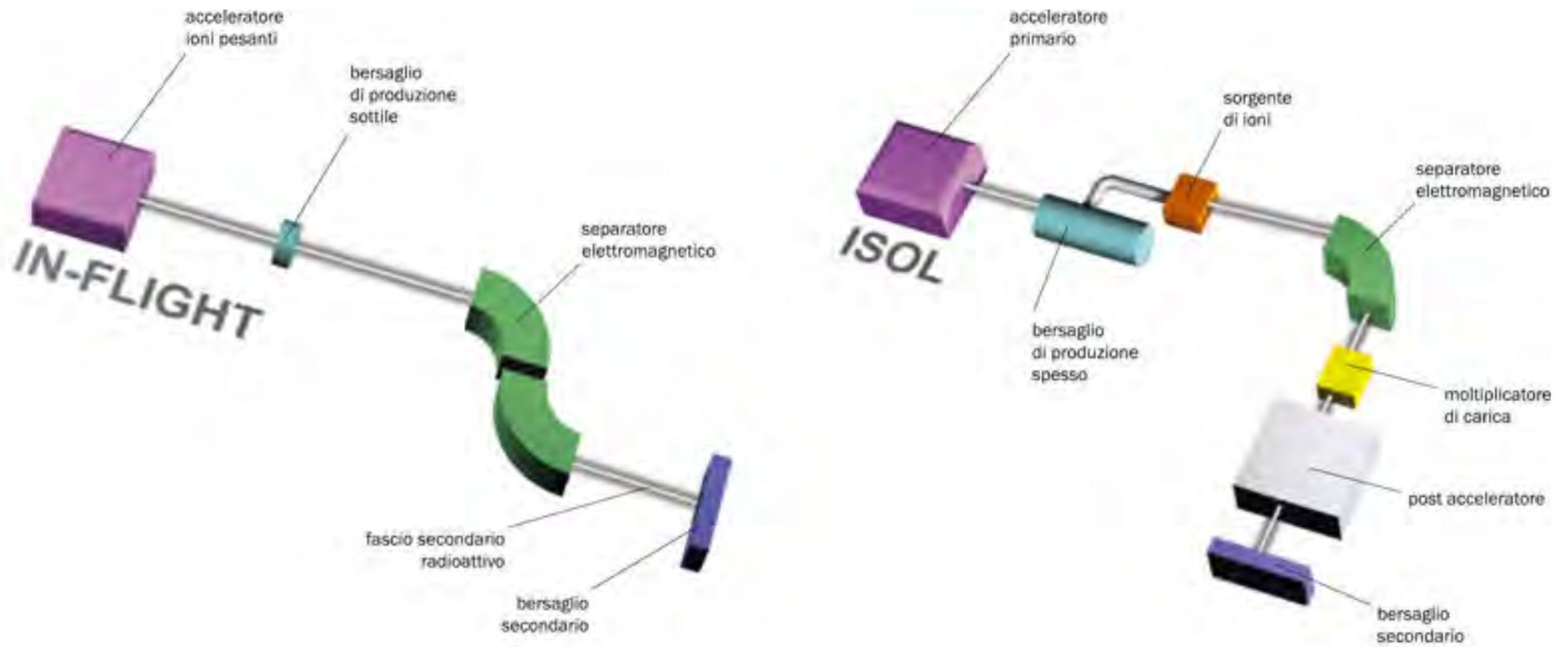
SPES

SPES: Fasci esotici a Legnaro

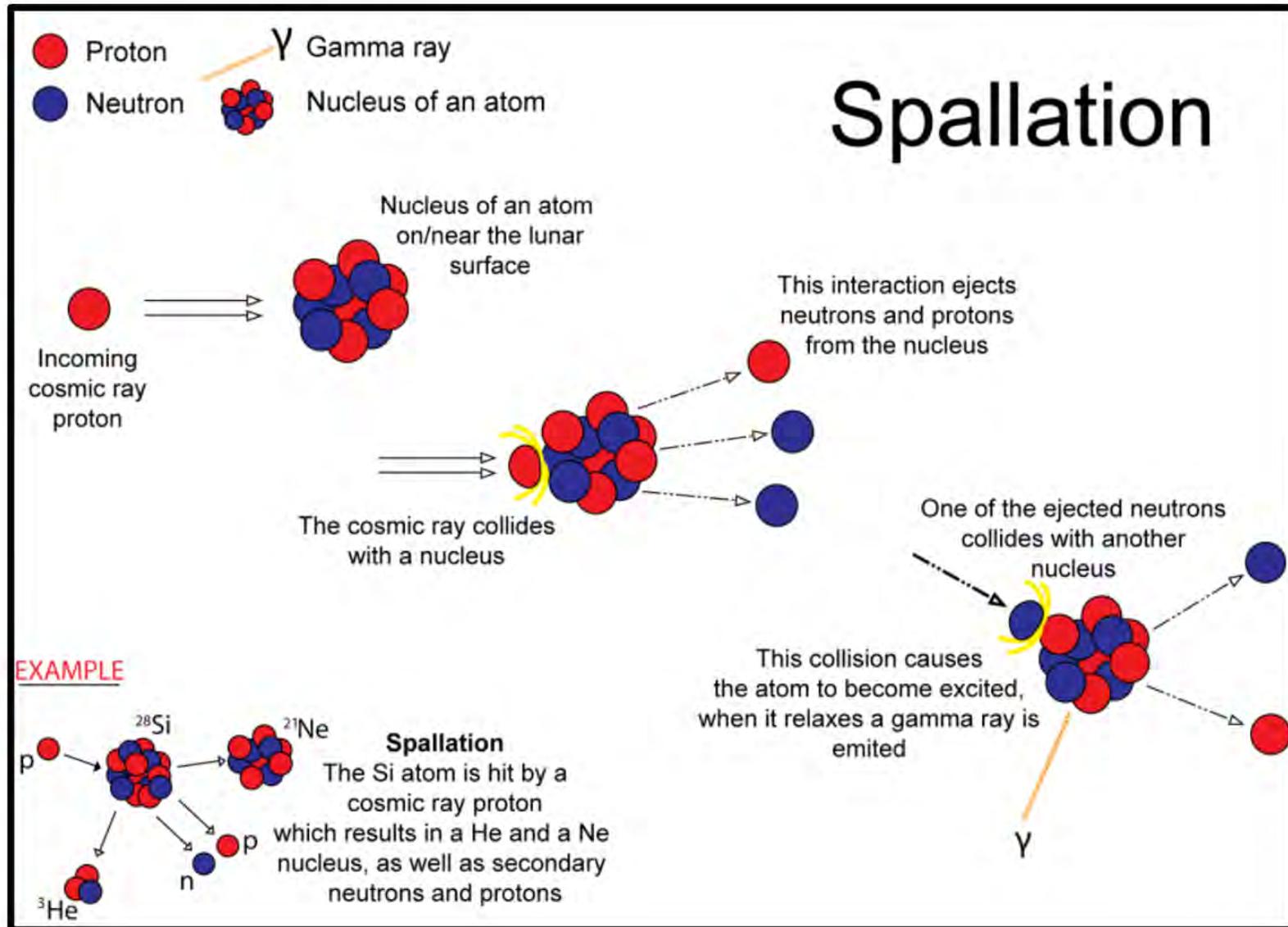
- Acceleratore di protoni ($200\mu\text{A}$, 40MeV)
- Bersaglio spesso UC_2 , LaC_2 ; i nuclei si estraggono per diffusione
- Altri esempi: ISOLDE (CERN), GANIL (Francia)



Nuclei esotici



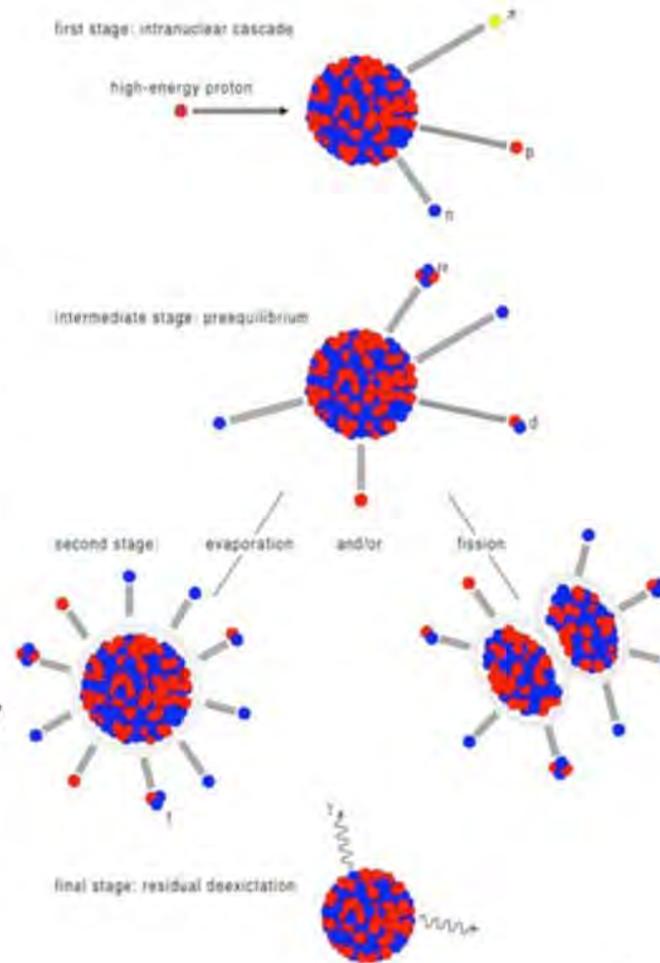
La spallazione (nei CR)



La spallazione

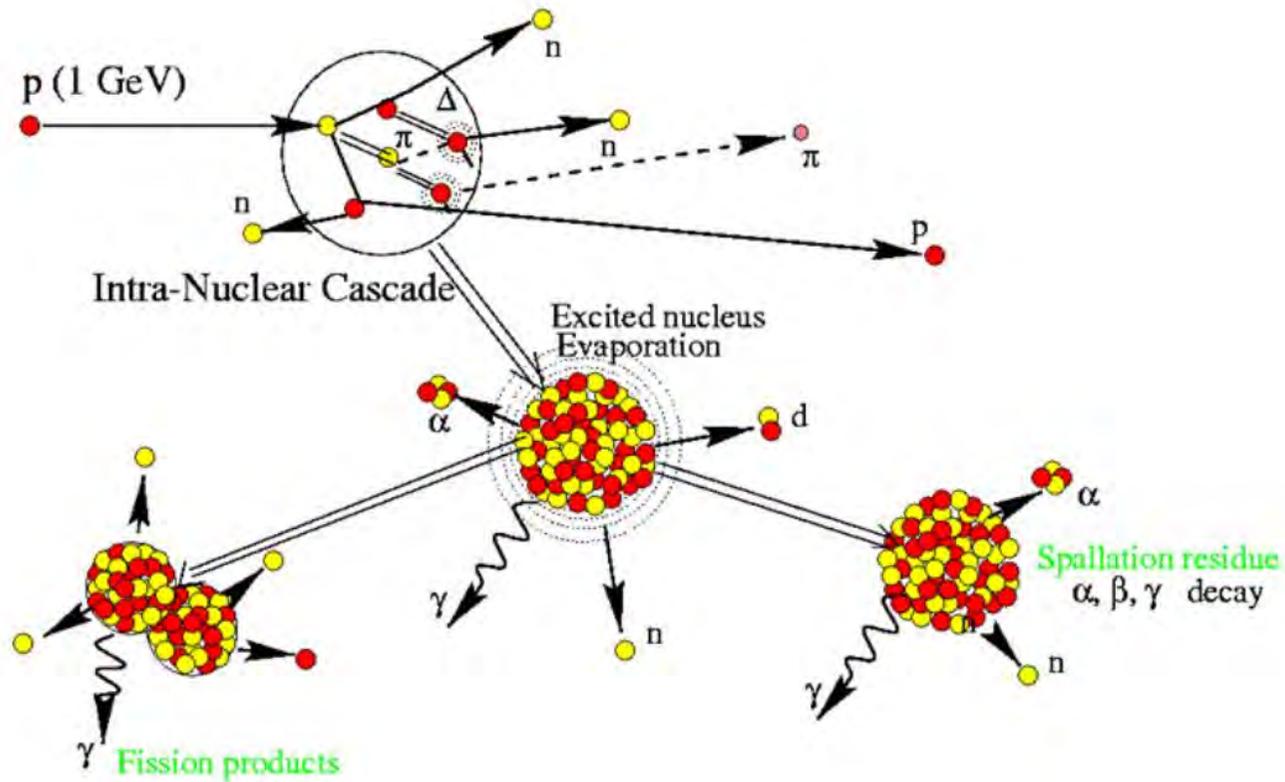
Nuclear spallation

In accelerator-driven spallation sources, high-energy particles (invariably protons of ~ 1 GeV energy) from the accelerator impinge on a thick target of dense, high-mass-number materials, e.g., uranium, tungsten, tantalum, or mercury. Here they collide, leaving highly excited nuclei. Neutrons, protons, and pions that emerge from collisions with sufficient energy proceed to collide again and leave further excited nuclei. The excited nuclei shed their energy by promptly evaporating particles (by far, predominantly neutrons) until there is too little left for that process.



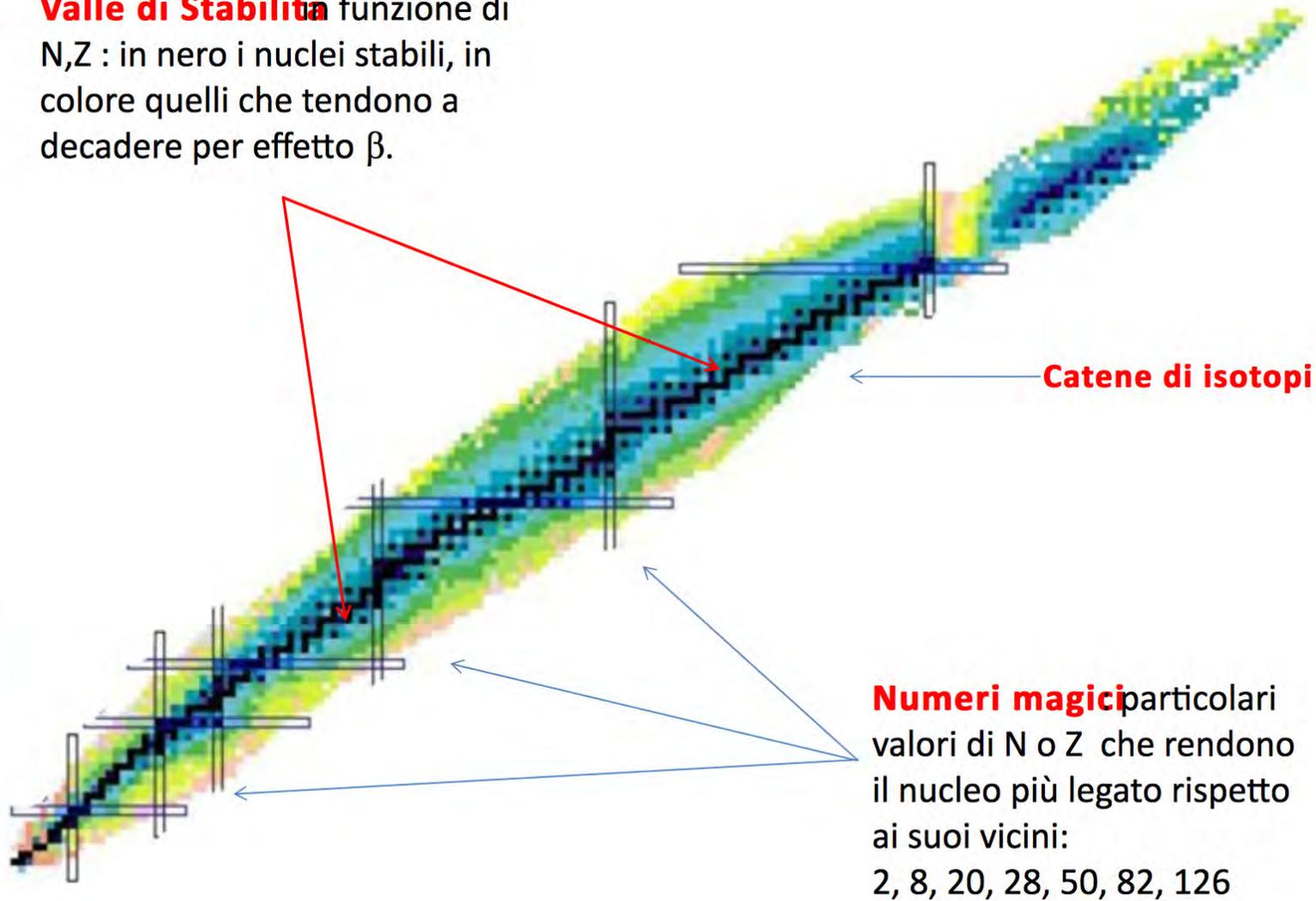
La spallazione

Spallation Reaction



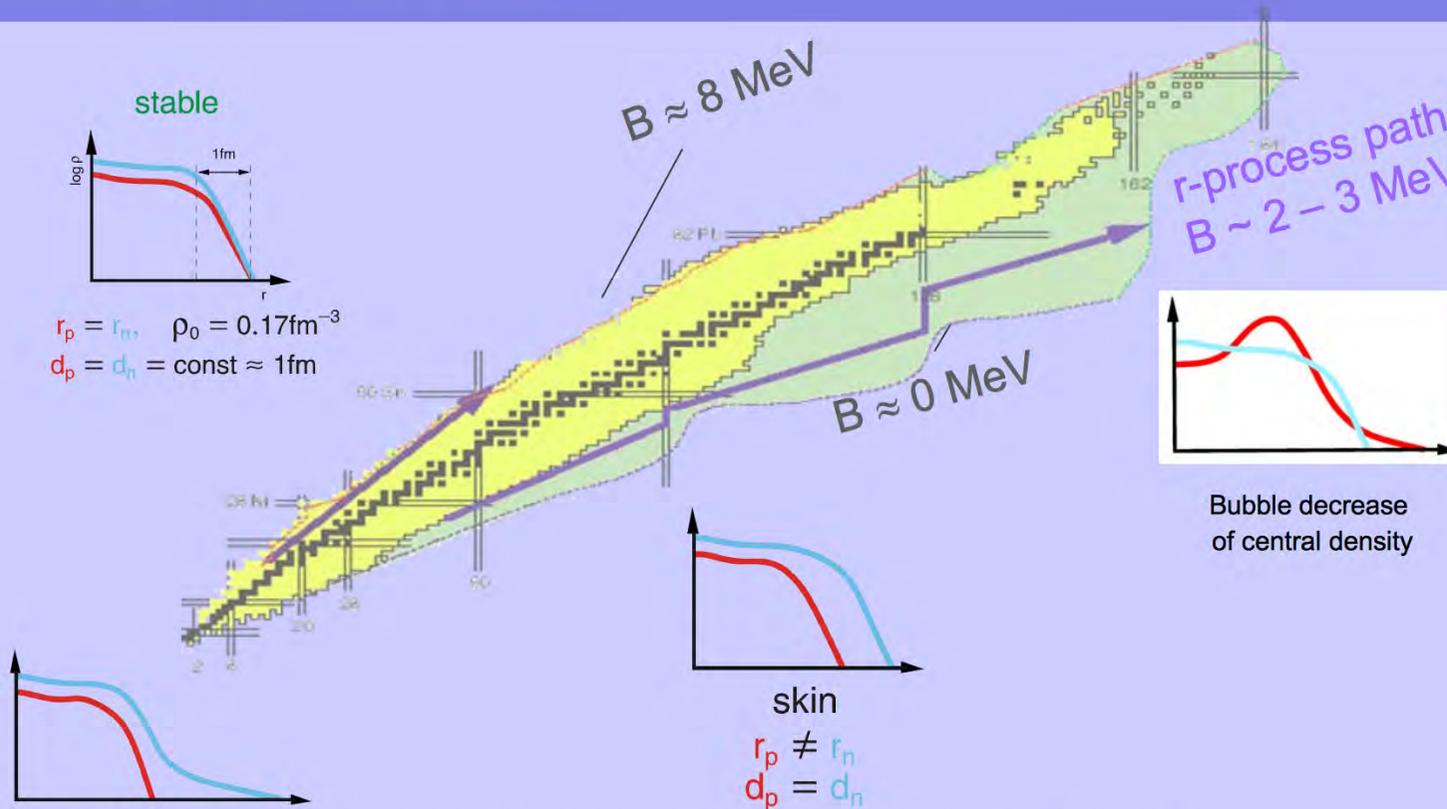
La fisica nucleare

Valle di Stabilità in funzione di N, Z : in nero i nuclei stabili, in colore quelli che tendono a decadere per effetto β .



La fisica nucleare

Nuclei Esotici

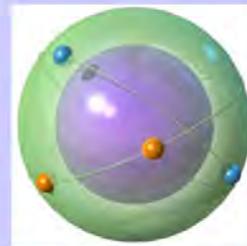
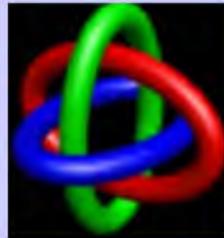
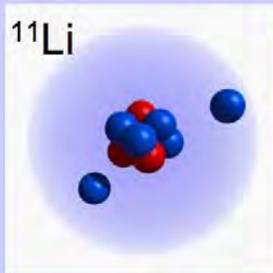


Eccesso di protoni o neutroni, vite medie brevi
 L'energia di legame (B) dei nucleoni di valenza diminuisce
 La distribuzione di densità di **protoni** e **neutroni** è diversa

La fisica nucleare

Lo zoo nucleare (I)

Sistemi di particella singola

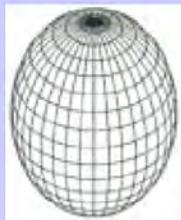


Nuclei borromeiani

Sistemi collettivi (rotazionali)



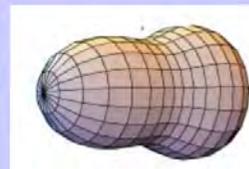
Sferico



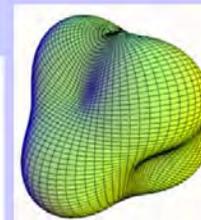
Prolato



Oblato



Ottupolare



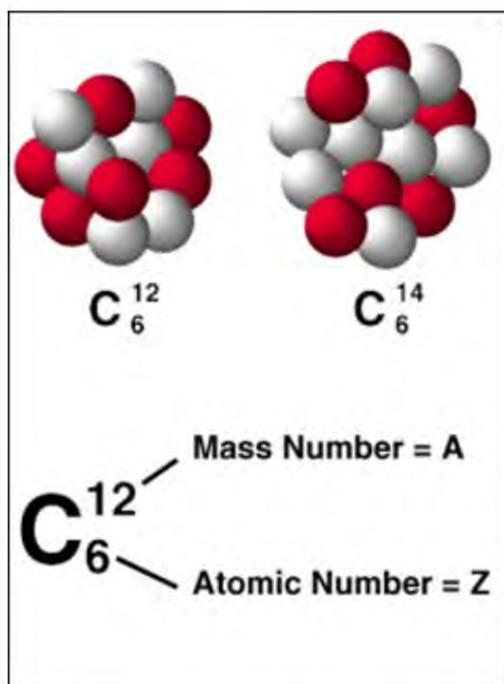
Tetraedrico



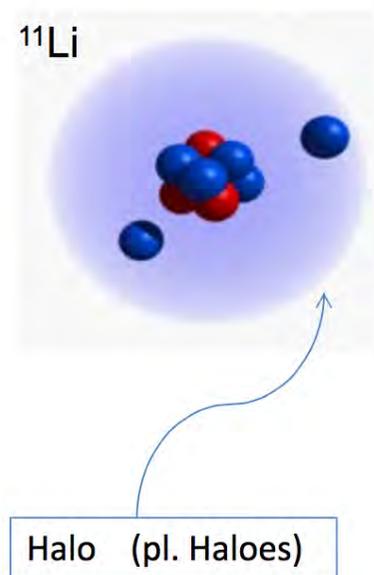
Superdeforme

La fisica nucleare

Denso e compatto, il raggio segue la regola $r = r_0 A^{1/3}$.

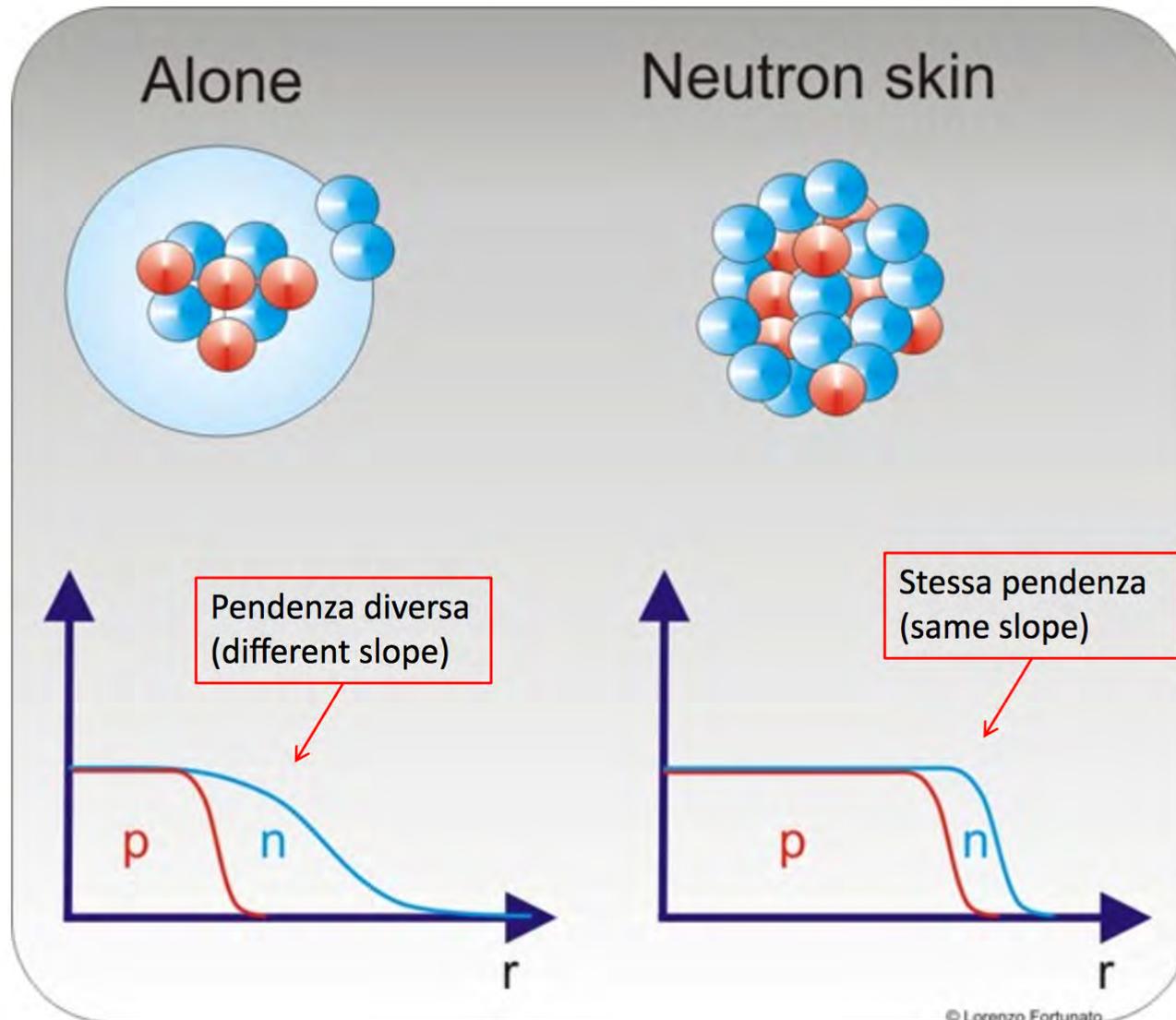


Il core continua ad essere denso, ma la regione esterna diluita e di grande volume non segue più la regola $r = r_0 A^{1/3}$.

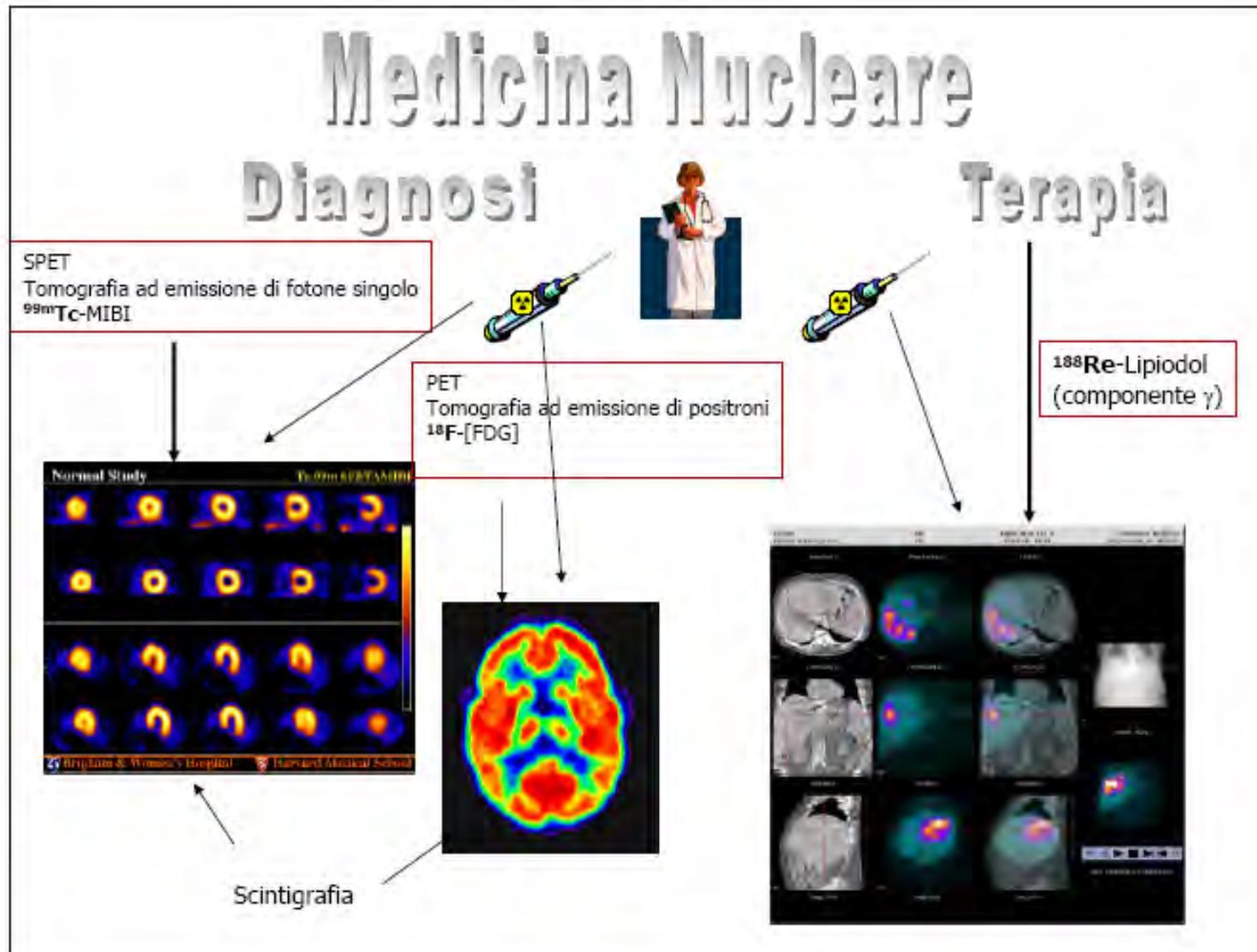


Questa fa sì che la **sezione d'urto geometrica**, $\sigma = \pi R^2$, che in prima approssimazione dà conto della probabilità di reazione, sia maggiore nei nuclei con alone. Le conseguenze di ciò sono osservate sperimentalmente in un aumento della probabilità di certi processi.

La fisica nucleare



La Medicina nucleare



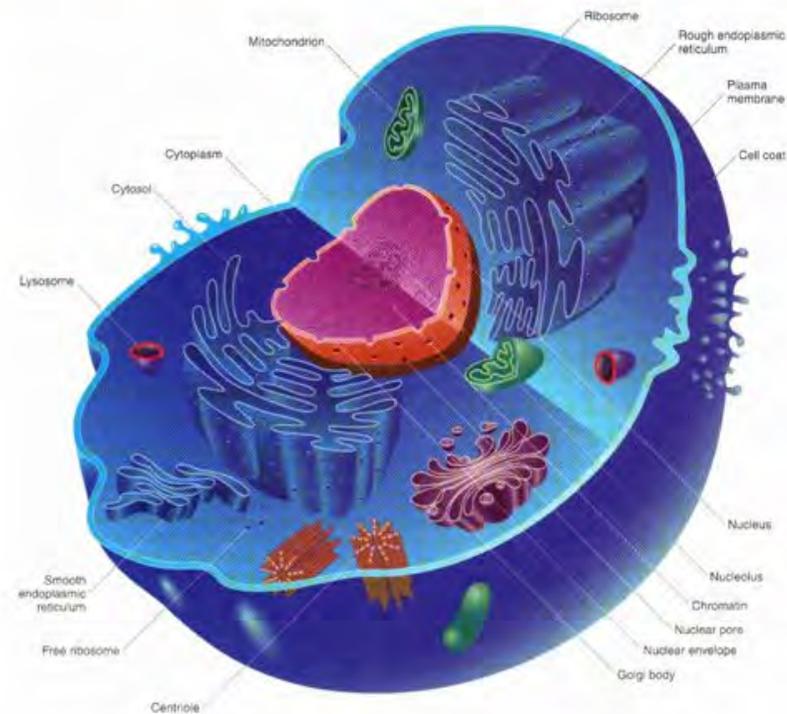
La radiobiologia

Radiobiologia

Disciplina multidisciplinare che studia gli effetti delle radiazioni sui sistemi biologici

- Medicina
- Fisica
- Biologia

Applicazioni per la salute dell'uomo e dell'ambiente



IFMIF

Acceleratore lineare con quadrupoli a radio frequenza



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro

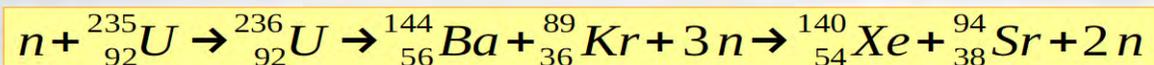
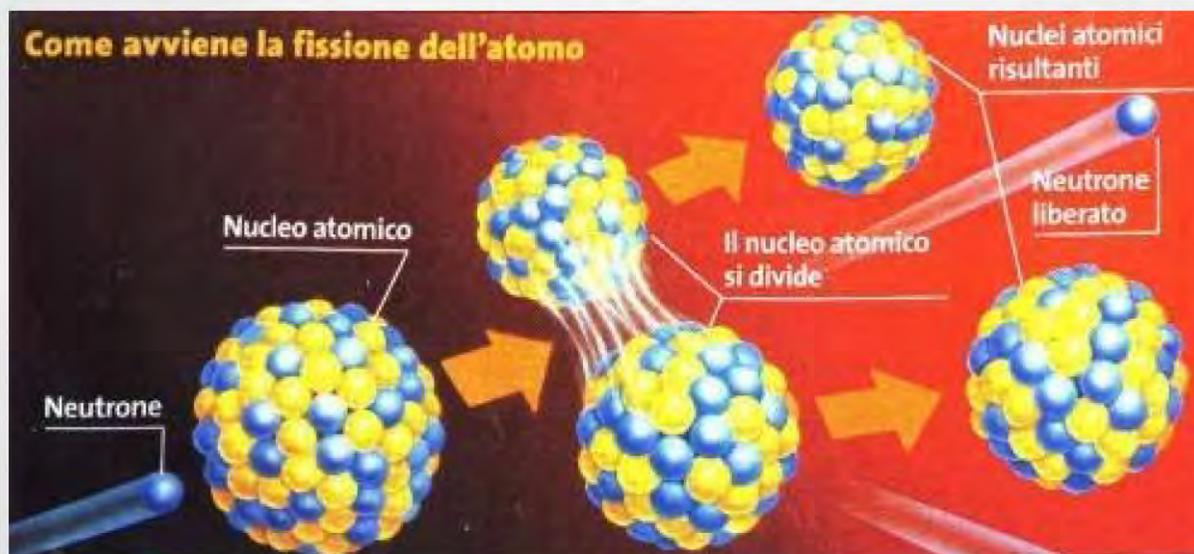


Rokkasho,
Giappone

La fissione nucleare

LA FISSIONE NUCLEARE

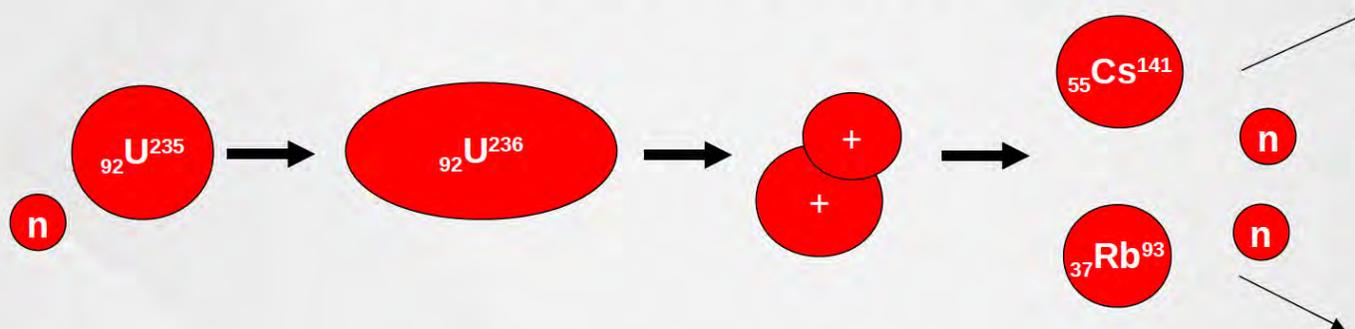
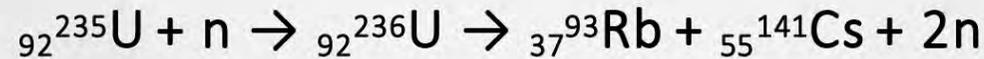
I nuclei pesanti ($Z > 92$), se bombardati ad es. con neutroni, tendono a decadere spezzandosi in **due nuclei di massa circa metà** di quella di partenza, emettendo inoltre altri neutroni, che possono provocare una **reazione a catena**.



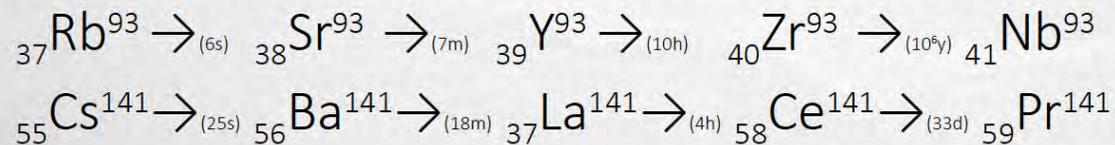
Nella fissione viene emessa **energia**: circa 200 MeV
(contro i 20 eV delle reazioni chimiche)

La fissione nucleare

FISSIONE NUCLEARE



Gli iniziali prodotti di fissione sono fortemente radioattivi e si trasformano (i.e. **decadono**) verso elementi isobari:

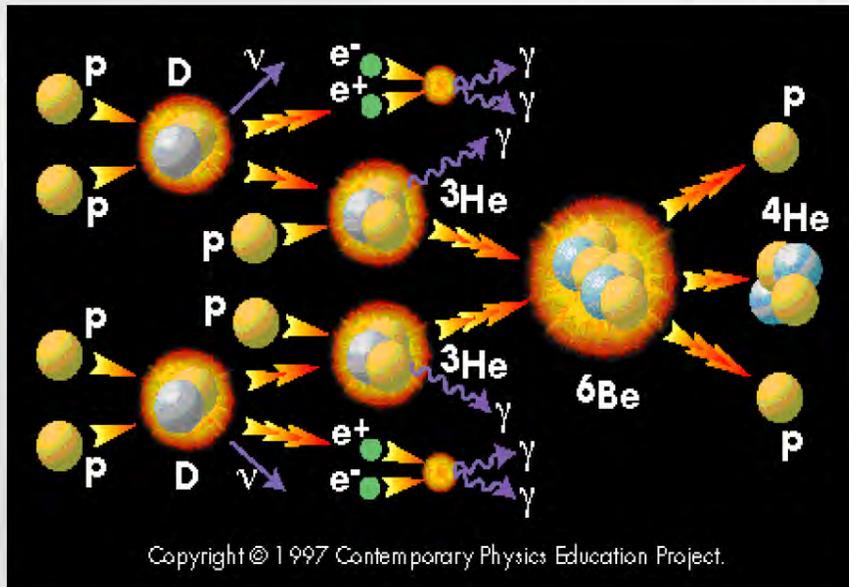


Questi prodotti sono le scorie radioattive dei reattori

La fusione nucleare

LA FUSIONE NUCLEARE

I nuclei leggeri ($Z < 15$), in condizioni particolari (es. **altissime temperature**) in cui riescono ad avvicinarsi l'un l'altro a piccolissime distanze, possono **fondersi a due a due** in nuclei più pesanti.



Nella fusione viene emessa **energia**: alcuni MeV (contro i 20 eV delle reazioni chimiche)

Nel Sole, a ogni secondo, 564500 kg di idrogeno si convertono in 560000 kg di elio; i restanti 4500 kg diventano energia che viene irradiata nello spazio.

La fusione nucleare

LA FUSIONE NUCLEARE

- La massa dei nuclei prodotti è $<$ della somma delle masse dei reagenti
- La massa che manca si è trasformata in energia che viene rilasciata:
 - Si producono $\sim 3,5$ MeV/nucleone
- Per realizzare la fusione servono:
 - alta pressione
 - alte temperature
 - tempo di confinamento sufficientemente lungo
- La prima bomba a fusione (bomba H) esplose nel '52
 - Reazione incontrollata, scatenata da fissione, che consentì il raggiungimento delle condizioni necessarie a far avvenire la fusione di nuclei di Deuterio e di Trizio

ESS



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro

Lund, Svezia

40+ IKC Partners and over 100 institutions involved in design & construction of ESS

- Aarhus University
- Atomki - Institute for Nuclear Research
- Agder University
- Budapest Neutron Centre
- CEA Saclay, Paris
- Centre for Energy Research, Budapest
- Centre for Nuclear Research – NCBJ, Poland
- CERN, Geneva
- CNR, Rome
- CNRS Orsay, Paris
- Cockcroft Institute, Daresbury
- DESY, Hamburg
- Delft University of Technology
- Edinburgh University
- Elettra – Sincrotrone Trieste
- ESS Bilbao
- Forschungszentrum Jülich
- Helmholtz-Zentrum Geesthacht
- Huddersfield University
- IFJ PAN, Krakow
- INFN, Catania
- INFN, Legnaro
- INFN, Milan



- Institute for Energy Research - IFE
- Institut Laue-Langevin - ILL
- ISIS, Rutherford-Appleton Laboratory, Oxford
- LLB (Laboratoire Léon Brillouin)
- Lodz University of Technology
- Lund University
- Nuclear Physics Institute of the ASCR
- Oslo University
- Paul Scherrer Institute
- Tallinn Technical University
- Technical University of Denmark
- Technical University Munich
- Science and Technology Facilities Council – STFC
- University of Tartu
- Uppsala University
- Wroclaw University of technology
- Warsaw University of Technology

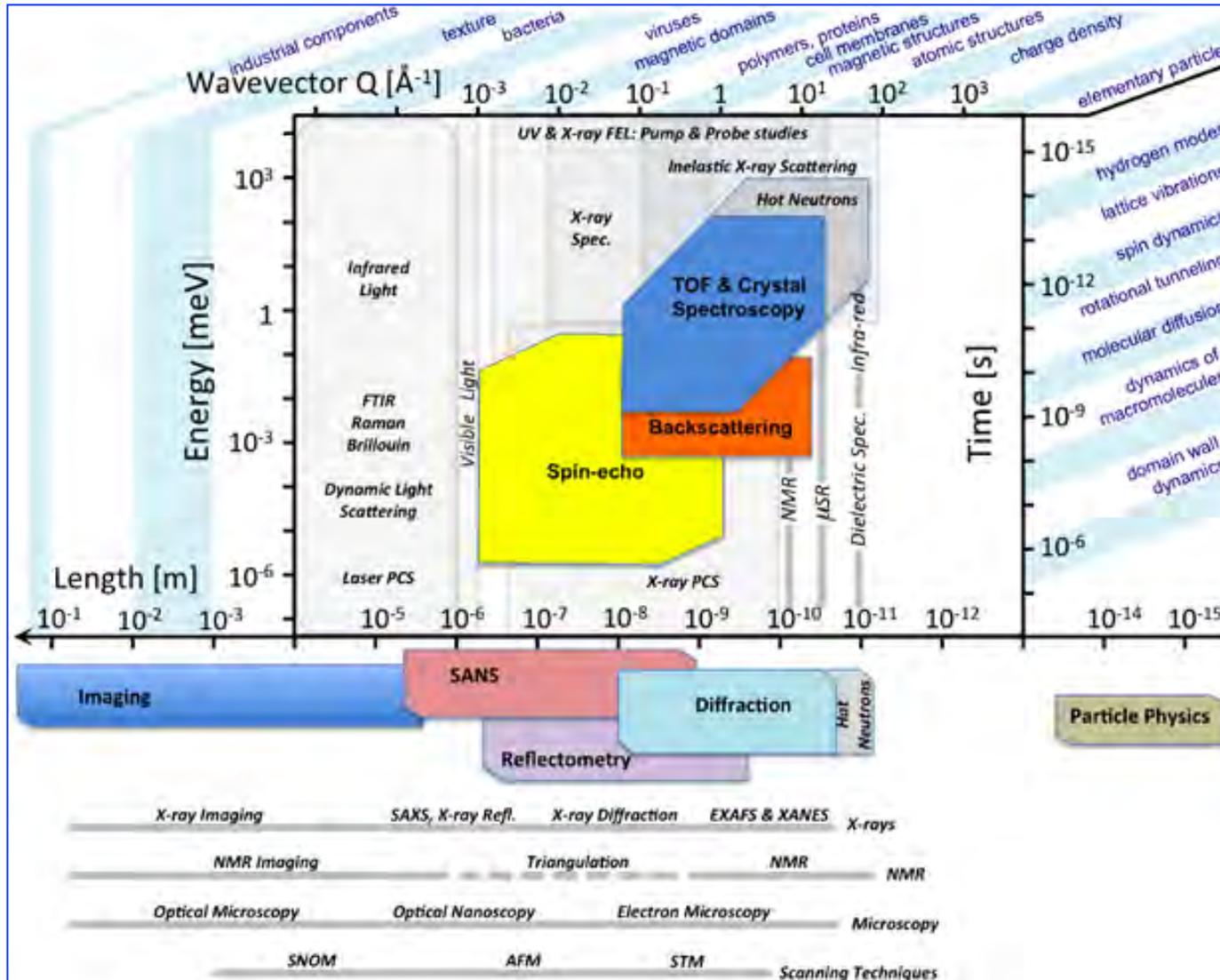


ESS

Lund, Svezia



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro



Il Gruppo III dell'INFN

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Commissione Scientifica Nazionale III

EXPERIMENTAL RESEARCHES ON NUCLEAR PHYSICS

Brief report on experimental activity

2018 EXPERIMENTS

The experiments are presented afterwards divided into four sectors, following the NuPECC classification scheme. A short presentation of each experiment is visible in the column summary, while in the column achievements and milestones the experimental situation updated at the end of 2016 is summarized; the most relevant publications in 2016 and the milestones for 2017 are also reported.

QUARK AND HADRON DYNAMICS

Nucleon spin physics, Nucleon Resonances, Nuclear medium effects, Hypernuclei spectroscopy, Kaonic atoms, Pion atoms

PHASE TRANSITIONS OF NUCLEAR AND HADRONIC MATTER

Liquid-vapour phase transition and equation of state of nuclear matter (EOS), Chiral symmetry restoration, Quark deconfinement, Hadron to Quark Gluon Plasma (QGP) phase transition

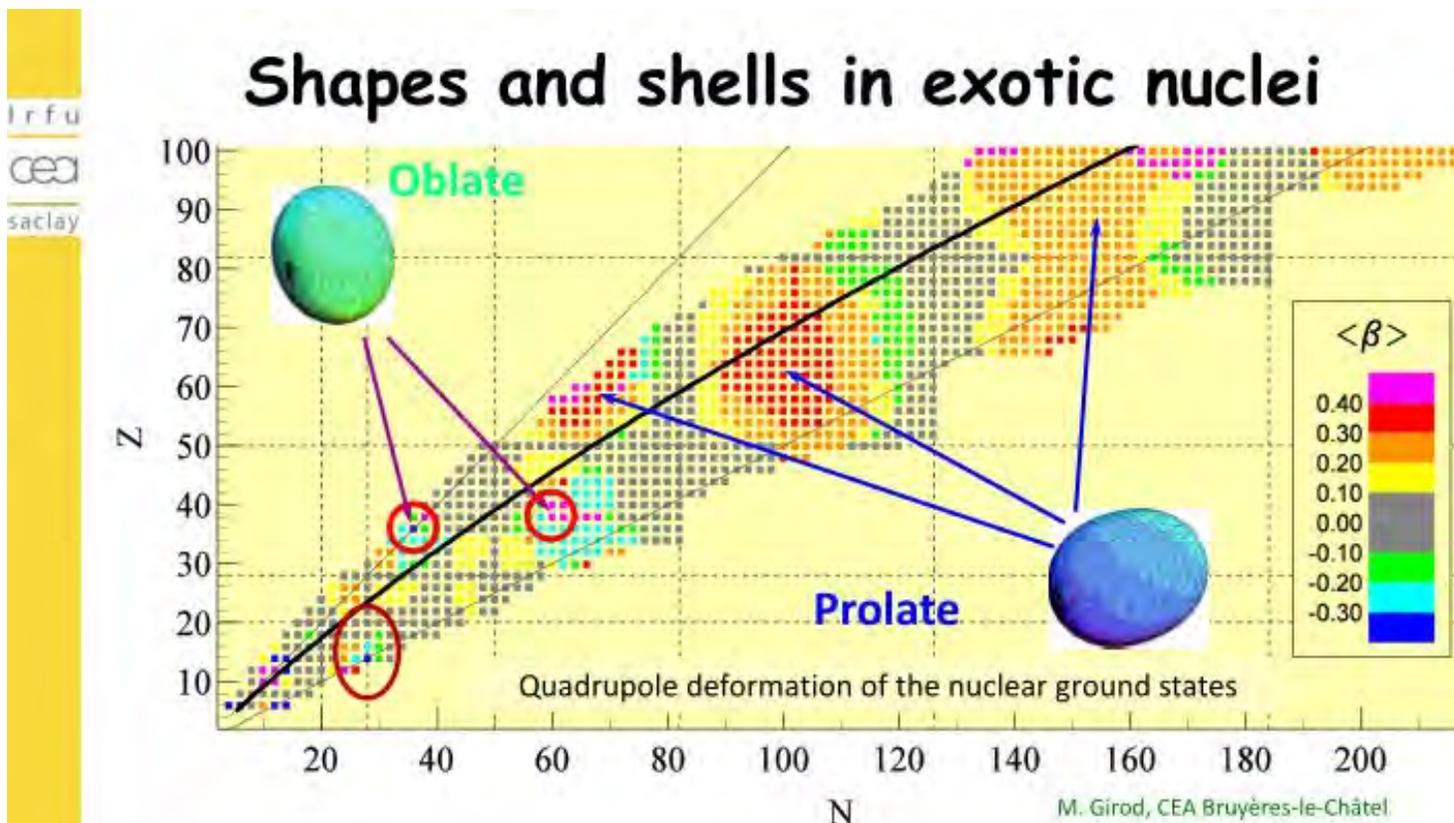
NUCLEAR STRUCTURE AND REACTION DYNAMICS

Fission and fusion reaction mechanisms, Production and study of very exotic nuclei far from the stability region, Structure of nuclei from gamma spectroscopy, Radioactive ion beam

NUCLEAR ASTROPHYSICS AND INTERDISCIPLINARY RESEARCHES

Measurement of very low energy cross sections of astrophysical interest, Stellar evolution, pp chain, CNO cycle;
Measurement of neutron cross sections of applicative and astrophysical interest; Production and study of anti-hydrogen atoms

La fisica nucleare



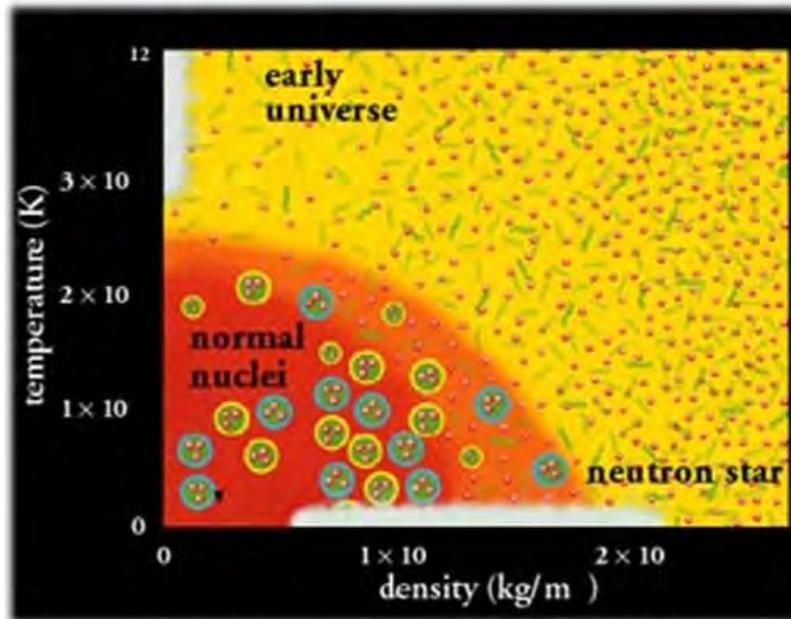
W. Kortzen

- Dominance of **prolate** ground state shapes over most of the nuclear chart
- Islands of **oblate** nuclei and **shape coexistence** ($N \sim Z$, $A \sim 100$, ...)
- Erosion of **shell gaps** leads to (strongly) deformed nuclei at $N=20, 28$ and 40

II Quark Gluon Plasma

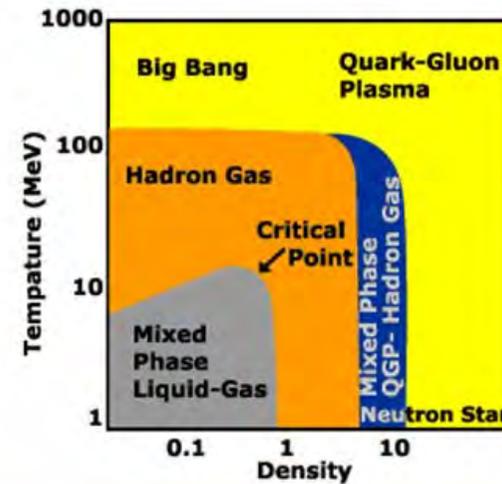


Phases of Nuclear Matter



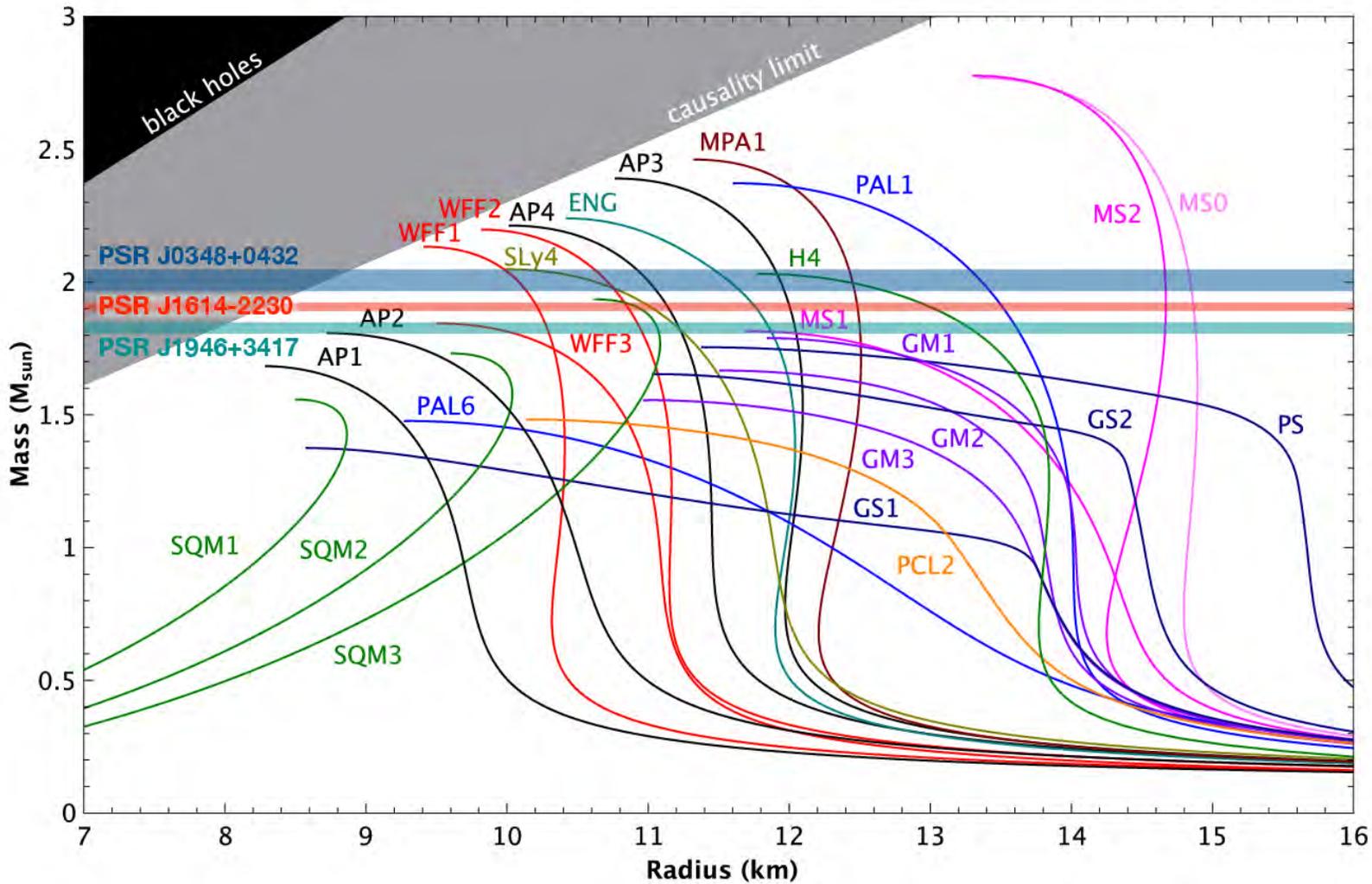
From the Nuclear Physics Wall Chart

("You don't have to be a nuclear physicist to understand nuclear science")

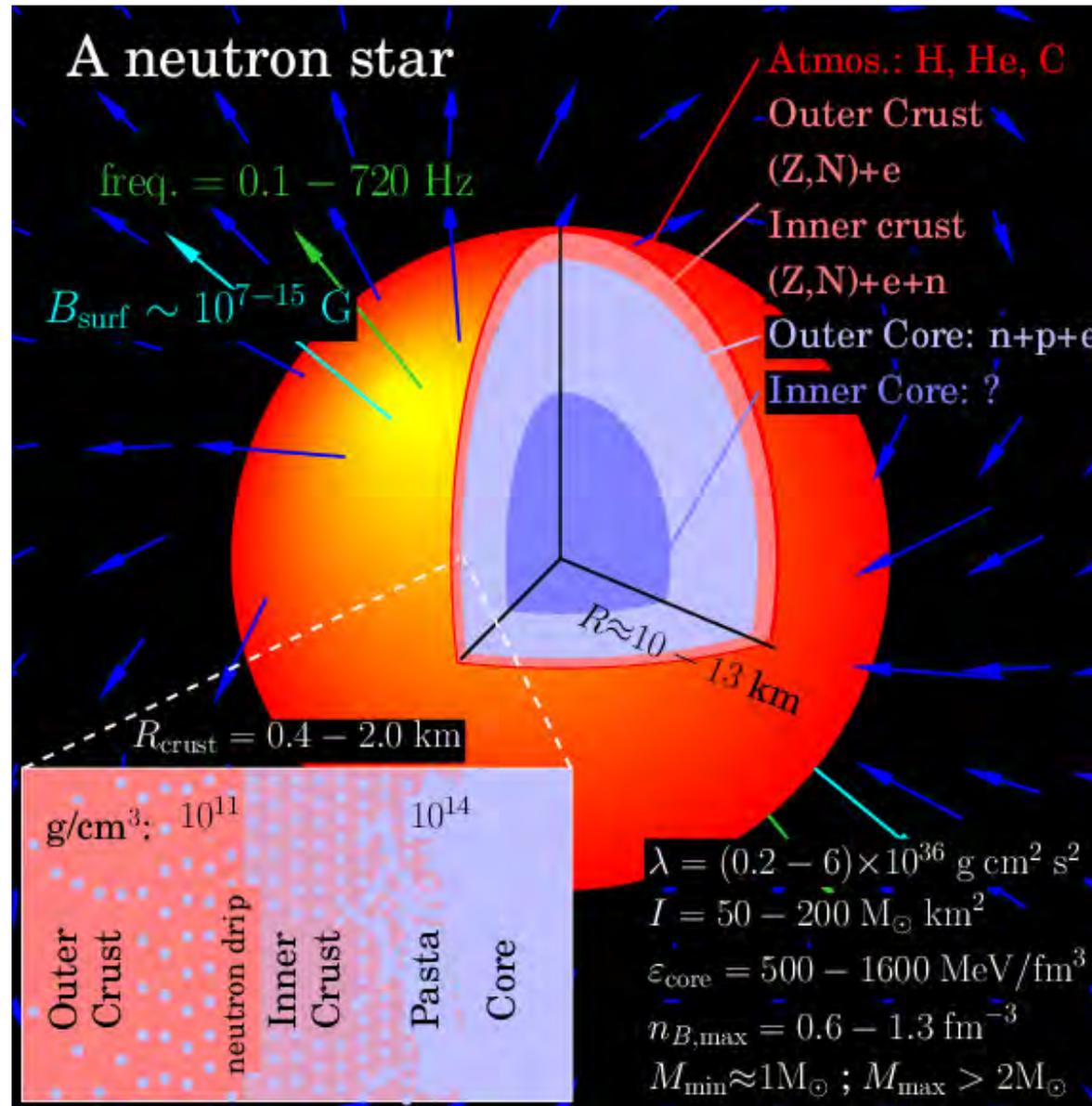


In a QGP, the coulomb part of the interaction dominates; the confinement part is overcome by the many nearby color charges.

L'equazione di stato nucleare



L' Astrofisica Nucleare

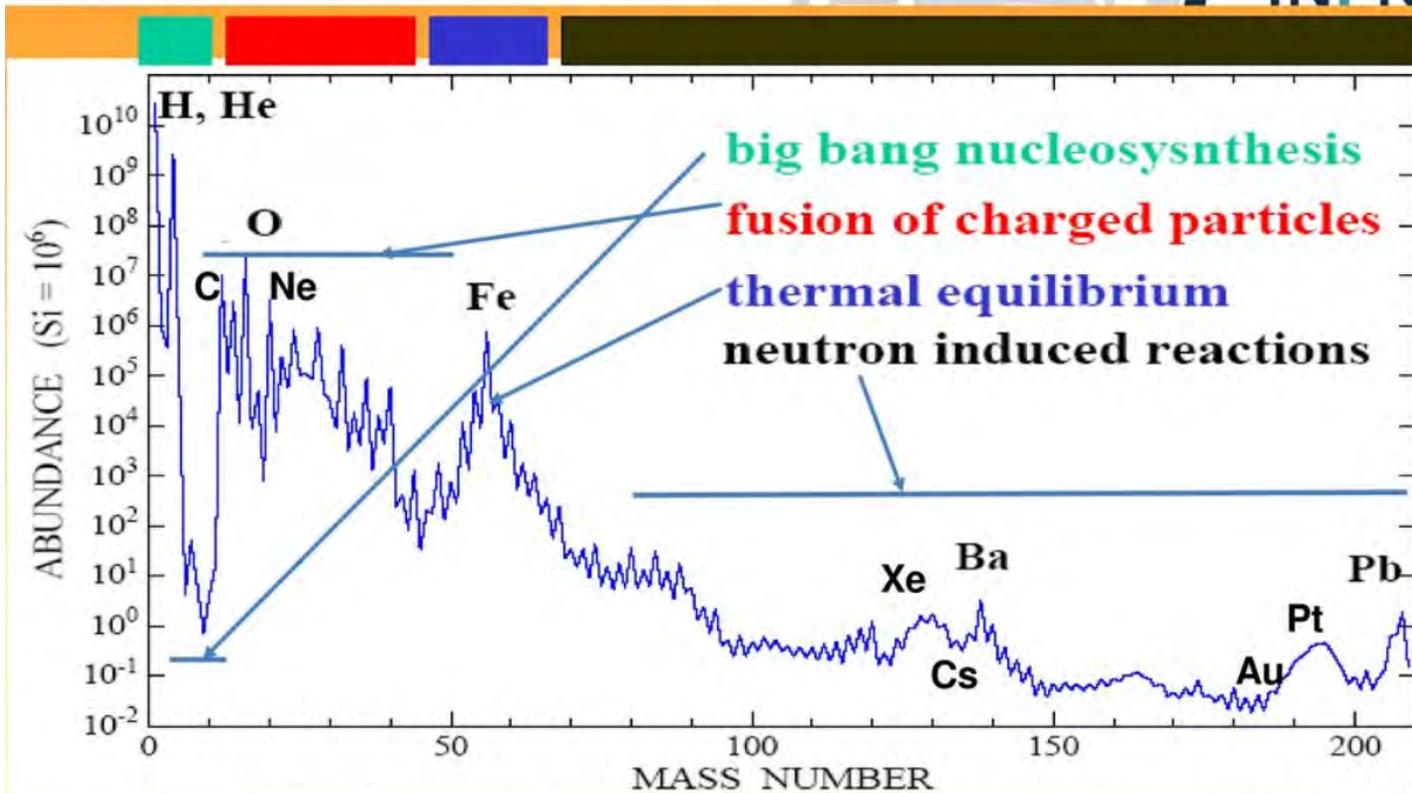


L' Astrofisica Nucleare



L'ORIGINE DEGLI ELEMENTI: 1957

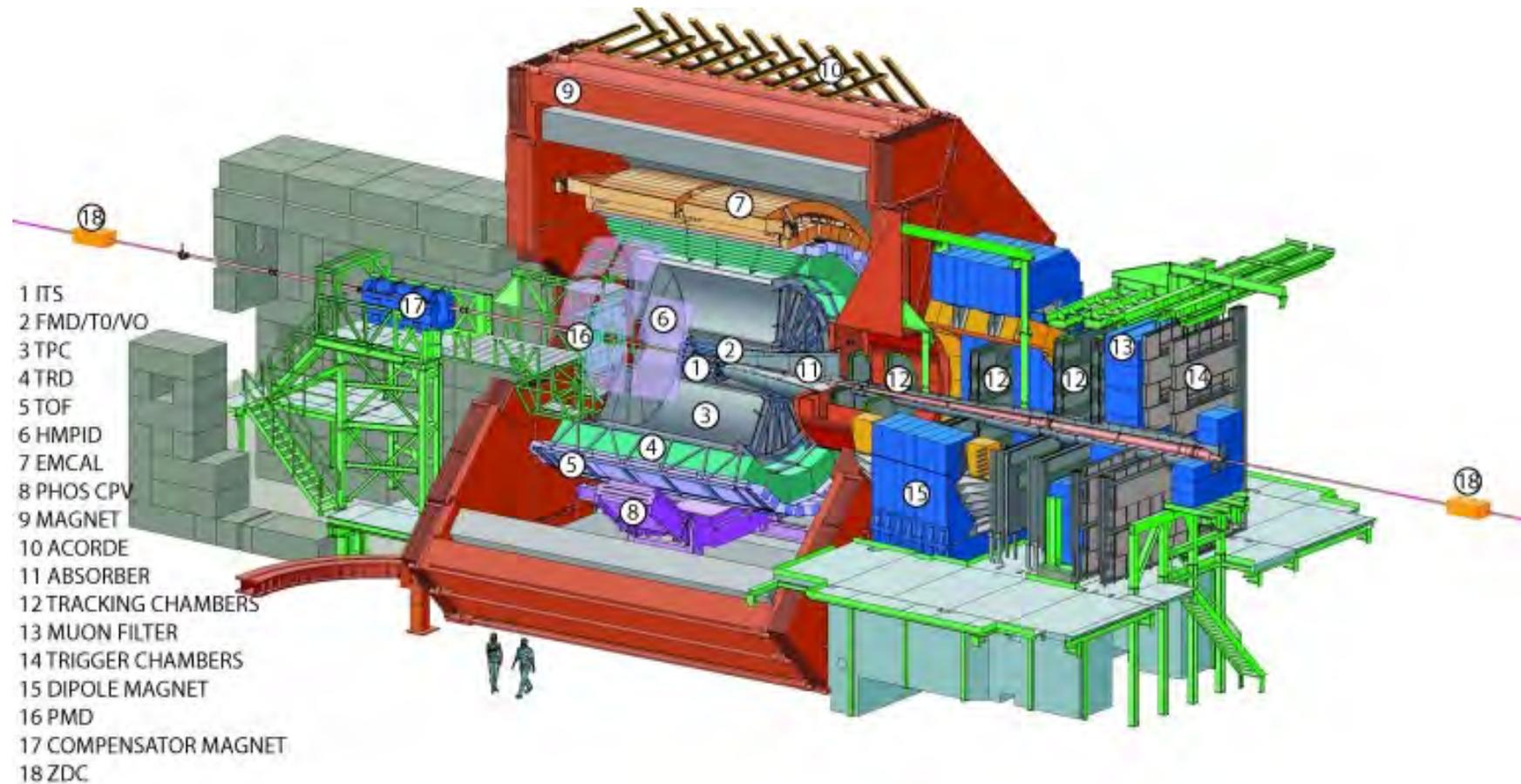
INFN



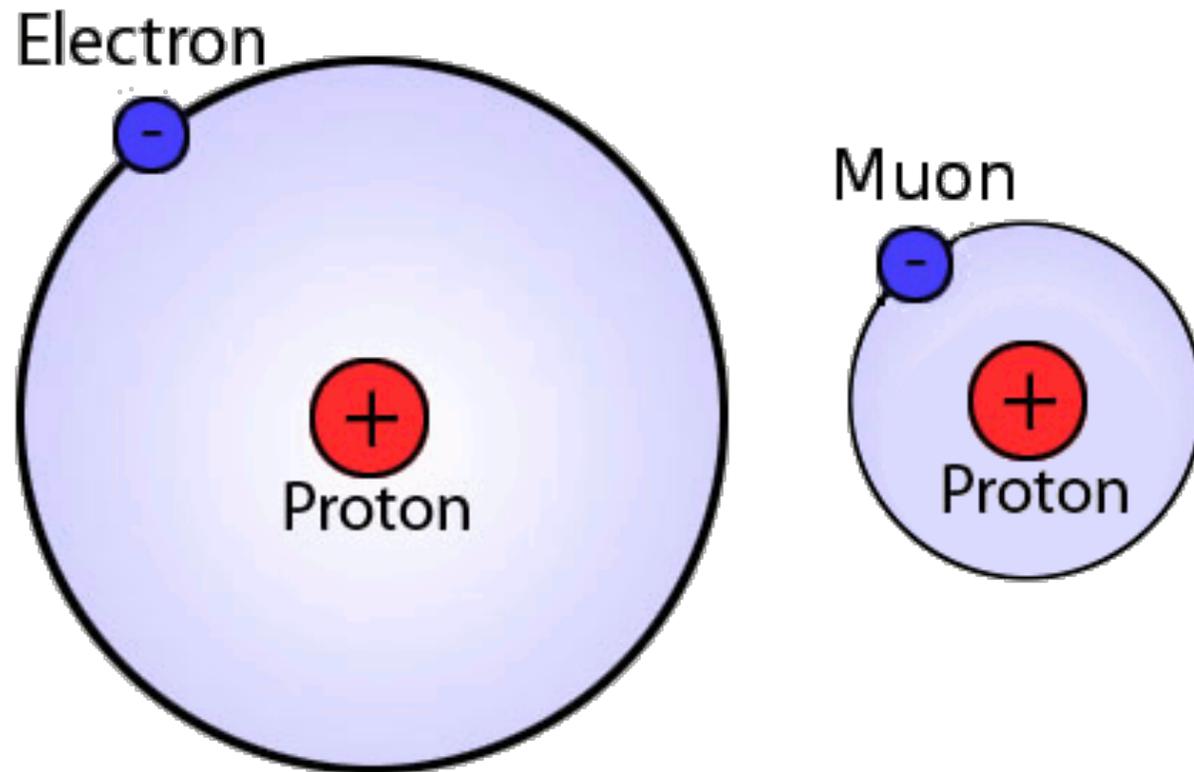
24/10/17

La distribuzione delle abbondanze solari e la loro origine astrofisica, ipotizzata da Burbidge, Burbidge, Fowles & Hoyle (1957)

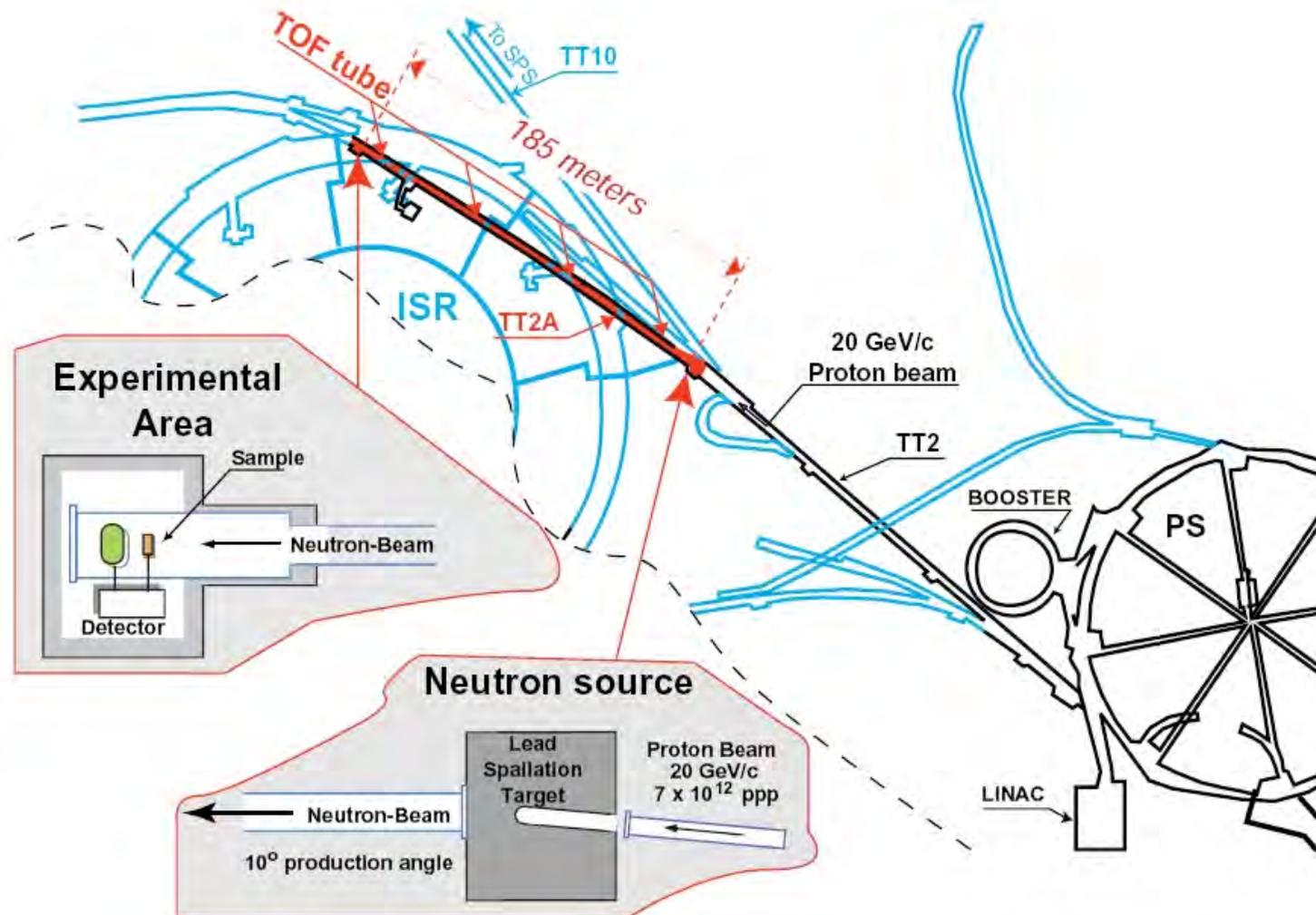
A Trieste ... ALICE



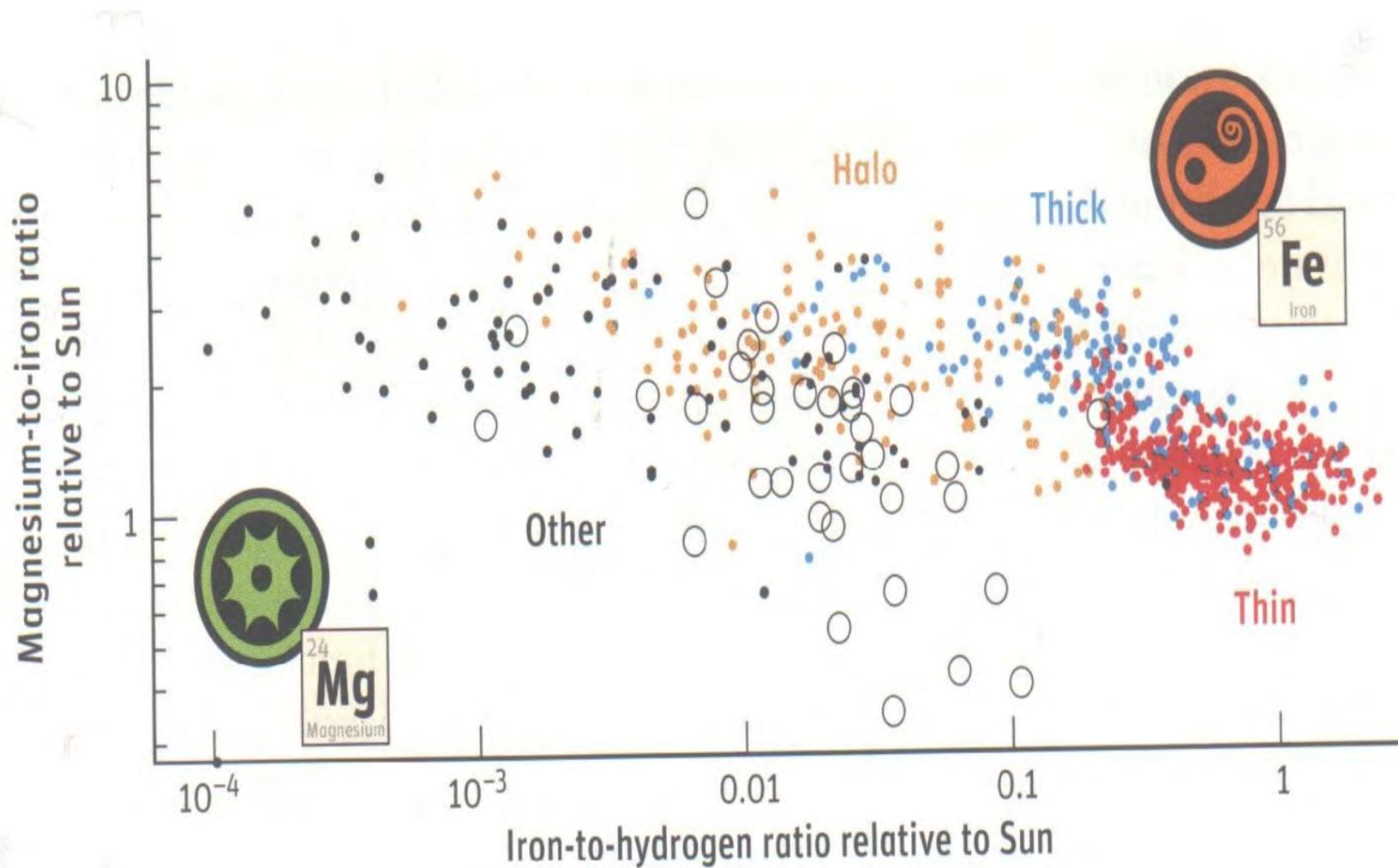
A Trieste ... FAMU



A Trieste ... n-TOF



A Trieste ... Astrofisica Nucleare



I laboratori Nazionali del Sud



Laboratori Nazionali del Sud



[HOME](#) [CHI SIAMO](#) [RICERCA](#) [APPLICAZIONI](#) [ACCELERATORI](#) [APPARATI](#) [USER](#) [INFORMAZIONI PRATICHE](#)

Sei qui: [Home](#)

[Infrastrutture marine](#)

[Link utili](#)

- > [INFN](#)
- > [Portale INFN](#)
- > [Direzione](#)
- > [Amministrazione](#)
- > [Fattura elettronica](#)
- > [Avvisi di aggiudicazione](#)
- > [Opportunità di lavoro](#)
- > [Modulistica](#)



[Notizie](#)

[Il Nuovo Cimento C dedica la copertina ad un lavoro...](#)

19 Dicembre 2018

[I LNS nella filiera del radiofarmaco](#)

14 Dicembre 2018

[ELIMED: inaugurazione linea di fascio a ELI Praga](#)

22 Novembre 2018

[Archivio Notizie](#)

[Seminari](#)

No events

<https://www.lns.infn.it>

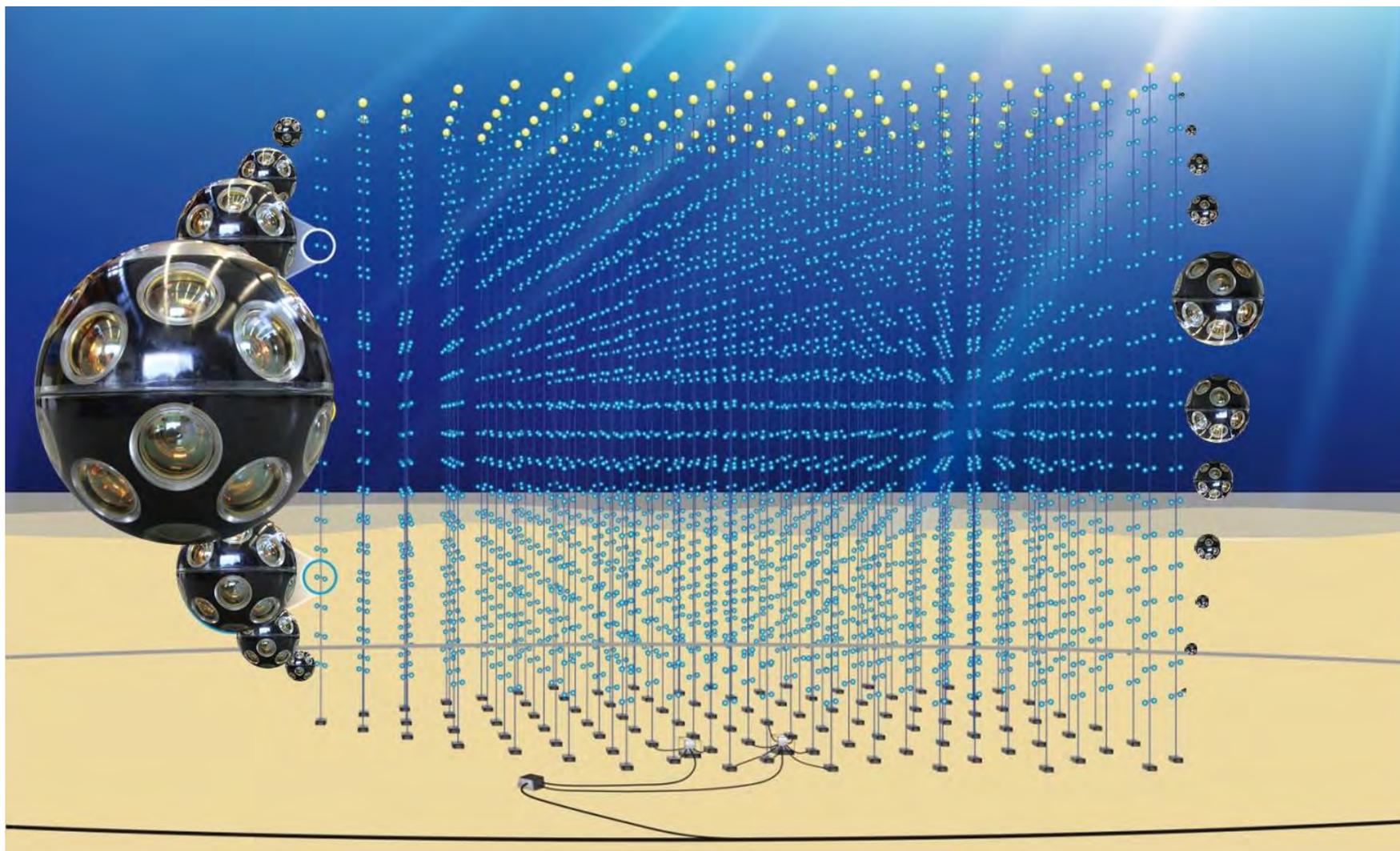
I laboratori Nazionali del Sud

- I Laboratori Nazionali del Sud costituiscono una solida realtà di ricerca, ben affermata nel panorama scientifico internazionale. Le attività dei LNS sono principalmente rivolte alla ricerca di base nel settore della Fisica Nucleare, dell'Astrofisica Nucleare e Particellare, ma anche verso la ricerca applicata, quali la Fisica degli acceleratori, la Fisica dei plasmi, la Fisica nucleare applicata alla medicina, alla biologia e ai beni culturali, il monitoraggio ambientale e di scorie radioattive, l'irraggiamento di componentistica per l'industria aerospaziale.
- Ai LNS due acceleratori di particelle, un Ciclotrone Superconduttore ed un Tandem, forniscono fasci di ioni dall'idrogeno al piombo con energie sino a diverse decine di MeV per nucleone. Con il metodo di frammentazione in volo è anche possibile produrre fasci di ioni radioattivi. Le proprietà della materia nucleare vengono studiate utilizzando grandi apparati di rivelazione (CHIMERA, MAGNEX, MEDEA) e apparati dedicati che possono essere installati in una delle sale sperimentali disponibili. Ricerche nel campo della Fisica Teorica vengono altresì effettuate negli stessi ambiti tematici.

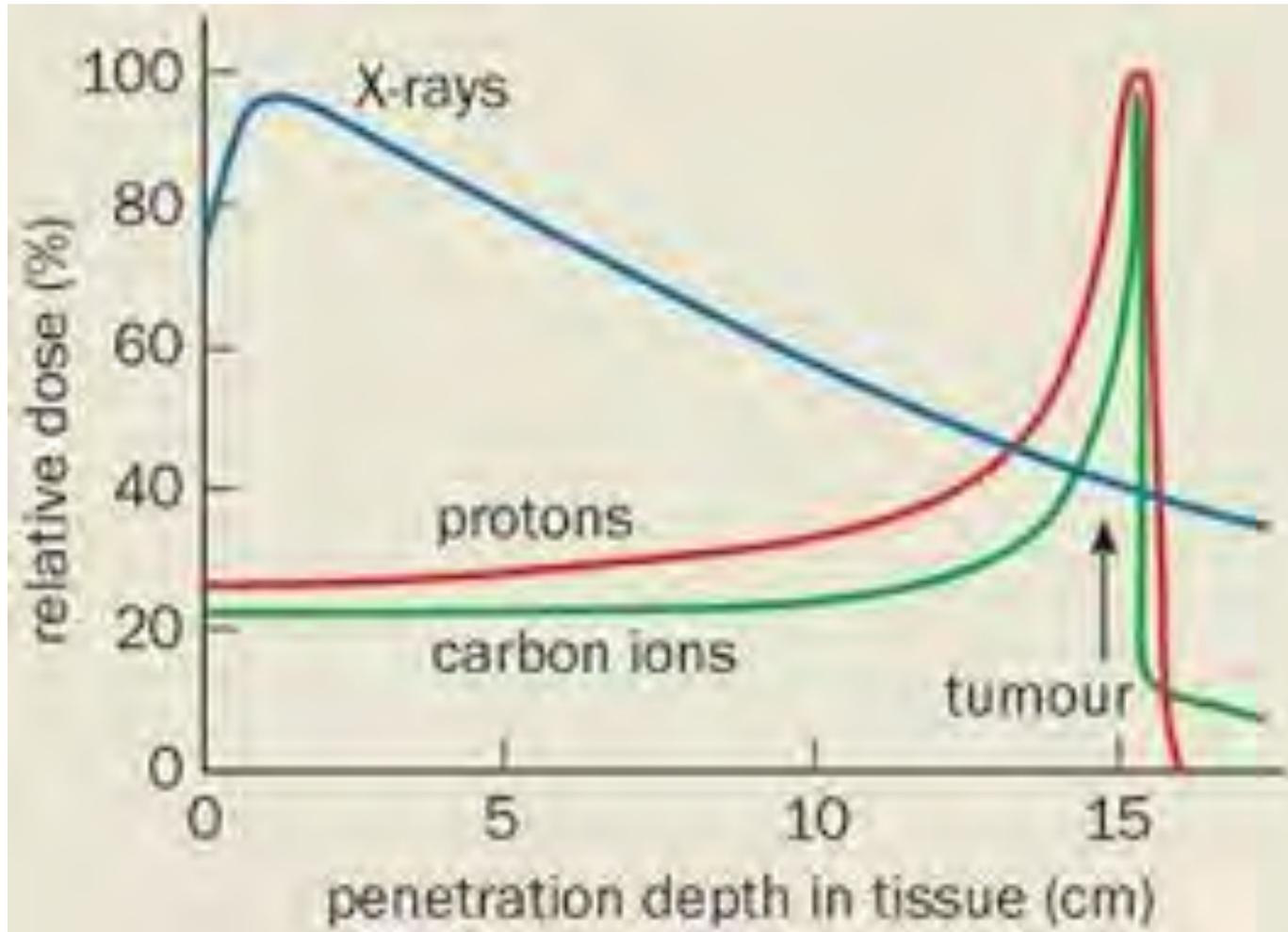
I laboratori Nazionali del Sud

- Per l'Astrofisica Particellare è in costruzione una grande infrastruttura di ricerca sottomarina (KM3NeT) per la rivelazione di neutrini presso una sede dei LNS situata a Portopalo di Capo Passero, utilizzata anche per attività di ricerca multidisciplinari (Geofisica, Vulcanologia, Biologia marina, ecc).
- Ai LNS sono inoltre operativi una sala di irraggiamento per la proton-terapia (CATANA), un laboratorio per i beni culturali (LANDIS), un laboratorio per la radioattività ambientale e altri laboratori per attività multidisciplinari (fotonica, biologia, chimica, ecc.).

I laboratori Nazionali del Sud



L' Adroterapia



I laboratori Nazionali del Sud

Applicazioni PIXE-ALFA



Nestor Palace frescoes (Pylos)



**Sculture dei Della Robbia
Museo del Bargello (Firenze)**



**Pigmento nero in Pythoi
Museo Archeologico (Heraklion)**

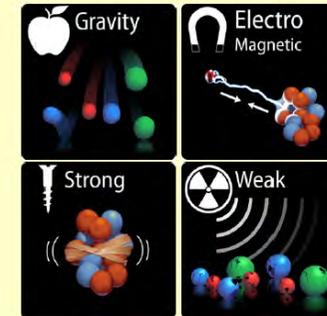


**Pontificale medioevale Istituto
Centrale Patologia del Libro
(Roma)**

La fisica nucleare

LA FISICA NUCLEARE È LA BRANCA DELLA FISICA CHE STUDIA IL NUCLEO ATOMICO NEI SUOI COSTITUENTI **PROTONI** E **NEUTRONI** E LE LORO INTERAZIONI.

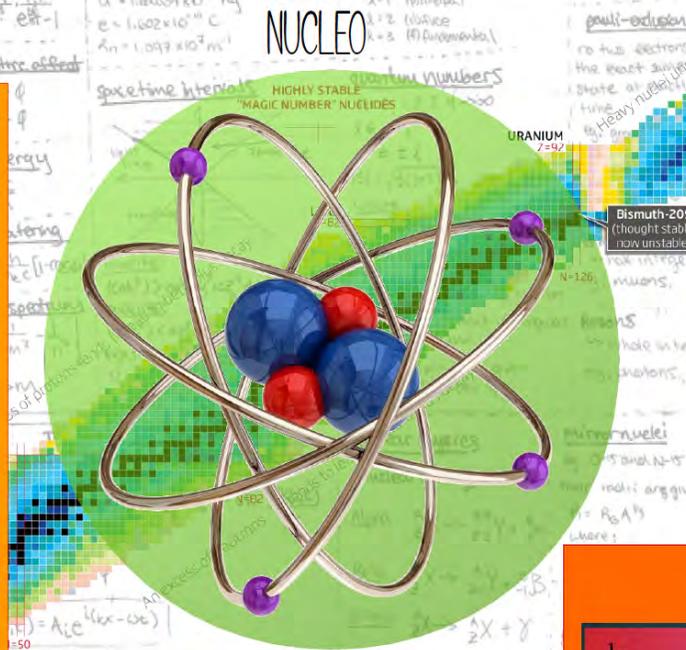
INTERAZIONI FONDAMENTALI



RADIOATTIVITÀ

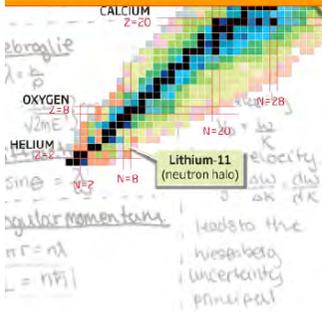
	Alpha Decay (alpha particle)
	Beta Minus Decay (beta particle)
	Beta Plus Decay (beta particle)
	Gamma Decay (gamma ray)

before after



ENERGIA NUCLEARE

	Fission
	Fusion



where:
 A = Atomic mass
 Z = number of protons
 beta decay has several types:
 - normal emission
 - positron decay
 - electron capture
 $A X + e^- \rightarrow A Y$

normalization condition
 $\int |\psi|^2 dx = 1$ ← must be 1 i.e. 100% chance of finding it.
 $|\psi|^2$ = probability density.
 Energy inside an infinite square well
 $E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m} \left[\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right]$