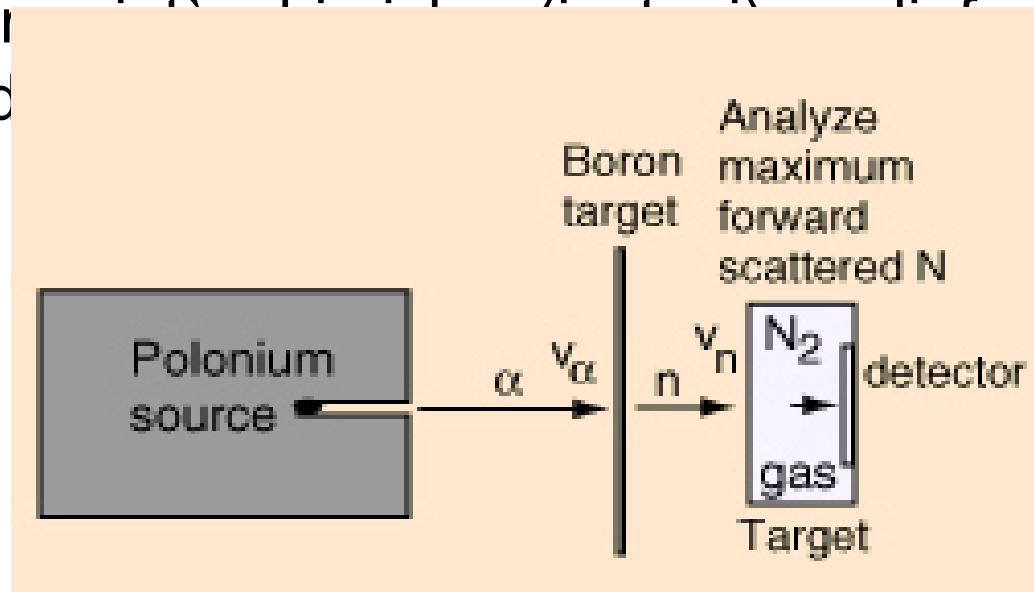


# *I componenti del nucleo: i nucleoni*

1932, Chadwick: bombardamento dei cristalli di Berillio con nuclei di elio e rilevamento di una particella elettricamente neutra, di massa pari a quella del protone.

La scoperta del neutrone ha permesso di spiegare l'esistenza di elementi di massa diversa ma con le stesse proprietà chimiche. È stato così possibile formulare un modello di



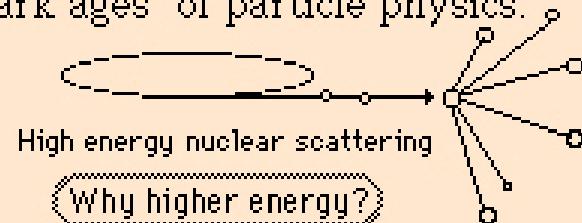
# La natura della materia

NUCLEI CONSIST OF PROTONS AND NEUTRONS. (Electrons, protons, and neutrons as elementary particles.



1930s

Multiplicity of particles: mesons, baryons,.....over 300 species. The "dark ages" of particle physics.



High energy nuclear scattering

Why higher energy?

1950s - 1960s

(Like trying to find out how a watch works by slamming two of them together and looking at the pieces!)

Matter consists of two types of elementary particles: **Leptons** and **Quarks**.

1970s-1980s

Weinberg, Salam, Glashow, Rubbia

# **Struttura del nucleo : *protoni e neutroni***

Il nucleo è costituito da due tipi di particelle:

- i ***protoni***, **p**, di carica elettrica positiva
- i ***neutroni***, **n**, particelle elettricamente neutre

*La carica elettrica del nucleo è dovuta alla carica totale dei protoni.*

Il numero di protoni presenti nel nucleo è pari al numero atomico **Z**.

Il numero **N** di neutroni presenti nel nucleo si ottiene dal numero di massa **A**: **N = A – Z**

# Struttura del nucleo : *protoni e neutroni*

Electron  
O

$$m_e = 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.000549 \text{ u}$$

$$e^- = -1.6022 \times 10^{-19} \text{ C} \quad m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$$

Proton

$$m_p = 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1836.15 m_e = 1.00728 \text{ u}$$

$$e^+ = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C} \quad m_p c^2 = 938.272 \text{ MeV}$$

Neutron

$$m_n = 1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1838.68 m_e = 1.00867 \text{ u}$$

$$\text{charge} = 0 \quad m_n c^2 = 939.566 \text{ MeV}$$

The atomic mass unit u is defined as 1/12 of the carbon atomic mass.

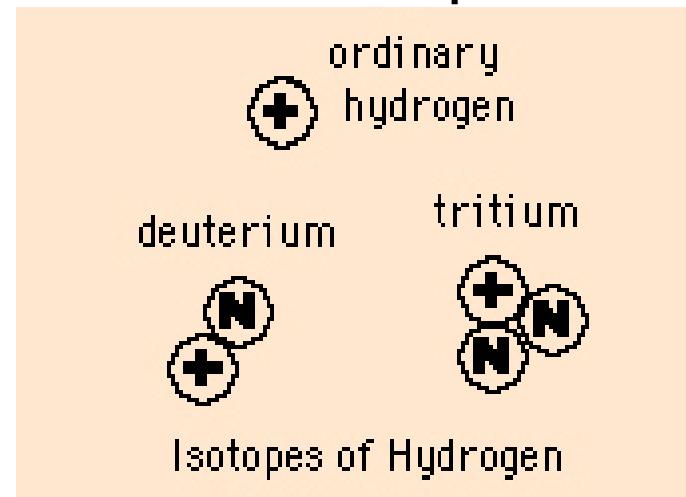
# Isotopi

Per un dato nucleo di numero atomico  $Z$  possono esistere specie con numeri diversi di neutroni: tali elementi sono detti *isotopi* del nucleo di numero atomico  $Z$ .

Un esempio è l'idrogeno che in natura presenta due isotopi:

**DEUTERIO**  $Z = 1$   $N = 1$

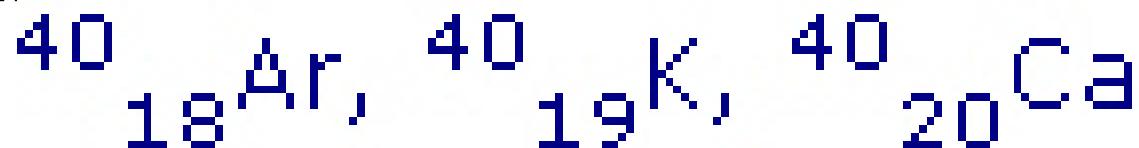
**TRIZIO**  $Z = 1$   $N = 2$



# Isobari

Gli isobari sono elementi aventi lo stesso numero di massa A ma diverso numero atomico Z.

Sono quindi specie chimicamente distinguibili



# Dimensioni del nucleo: il raggio

Esperimenti di diffusione di particelle  $\alpha$  (nuclei di elio) o di neutroni veloci da parte dei nuclei hanno mostrato l'esistenza di una forza attrattiva che ad una certa distanza si trasforma in una forza altamente repulsiva.

Questa distanza viene assunta come ***raggio del nucleo***.

Il raggio del nucleo è dell'ordine dei  $10^{-13}$  cm.

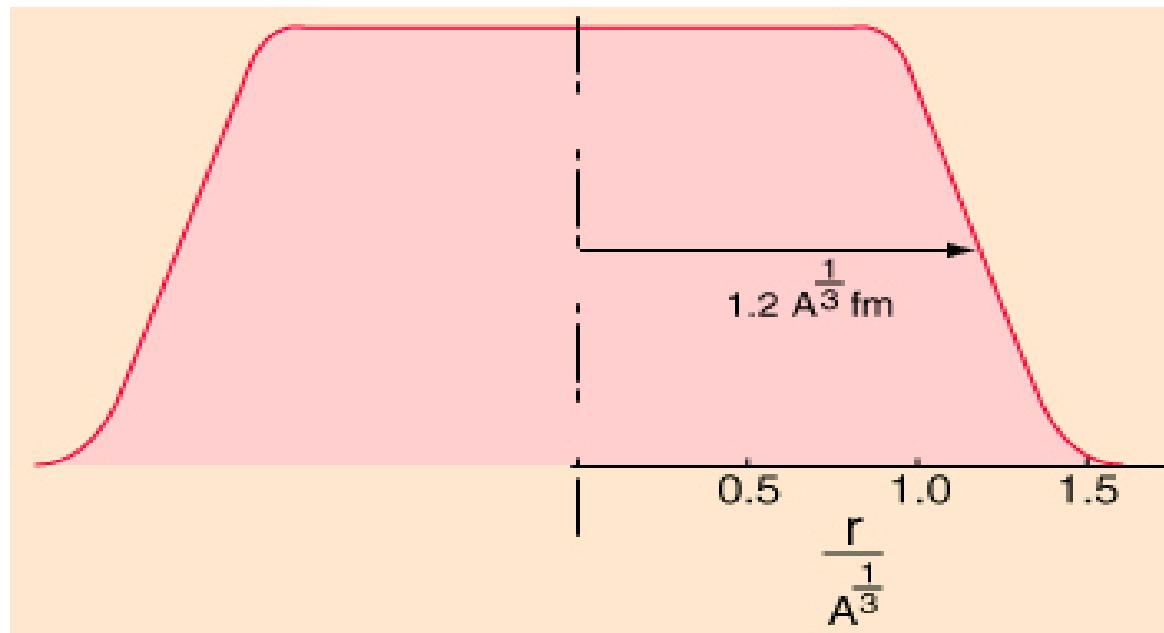
Il raggio del nucleo aumenta con il numero dei nucleoni secondo la legge:

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

dove  $R_0$  vale  $1.41 * 10^{-13}$  cm.

# La densità nucleare

La ***densità nucleare***, definita come la massa nucleare nel volume nucleare, risulta costante per tutti gli elementi.



# **Struttura del nucleo: *modello a shell***

Tale modello, proposto negli anni '50, dà una rappresentazione del nucleo del tutto simile a quella dell'atomo.

I neutroni e i protoni sono disposti su orbite permesse (shell) ad ognuna delle quali viene associato un dato *livello energetico*.

Per la differenza di massa tra protoni e neutroni, le corrispondenti orbite hanno energie leggermente diverse.

# **Struttura del nucleo: *modello a shell e stabilità***

Tale modello trova riscontro nell'esistenza di famiglie di nuclei particolarmente stabili, caratterizzati caratterizzati in base alla parità o alla disparità del numero di neutroni, di protoni o di nucleoni.

numero di nuclidi	$Z$	$N = A - Z$	$A$
166	pari	pari	pari
57	pari	dispari	dispari
53	dispari	pari	dispari
7	dispari	dispari	pari

# **Struttura del nucleo: modello a shell e numeri magici**

Neutroni e protoni tendono ad appaiarsi, avendo un momento magnetico, e si accoppiano con quello opposto (analogamente agli elettroni).

Esistono dei valori “magici” di Z e di N che corrispondono a nuclidi di alta stabilità e abbondanza naturale:

**2    8    20    28    50    82    126**

Z	2	8	20	28	50	82	126
configurazione elettronica di	$_2^{\text{He}}$	$_8^{\text{O}}$	$_{20}^{\text{Ca}}$	$_{28}^{\text{Ni}}$	$_{50}^{\text{Sn}}$	$_{82}^{\text{Pb}}$	
numero nuclidi naturali	2	3	6	5	10	4	
numero nuclidi artificiali/radioattivi	3	5	8	7	15	19	
totale	5	8	14	12	25	23	

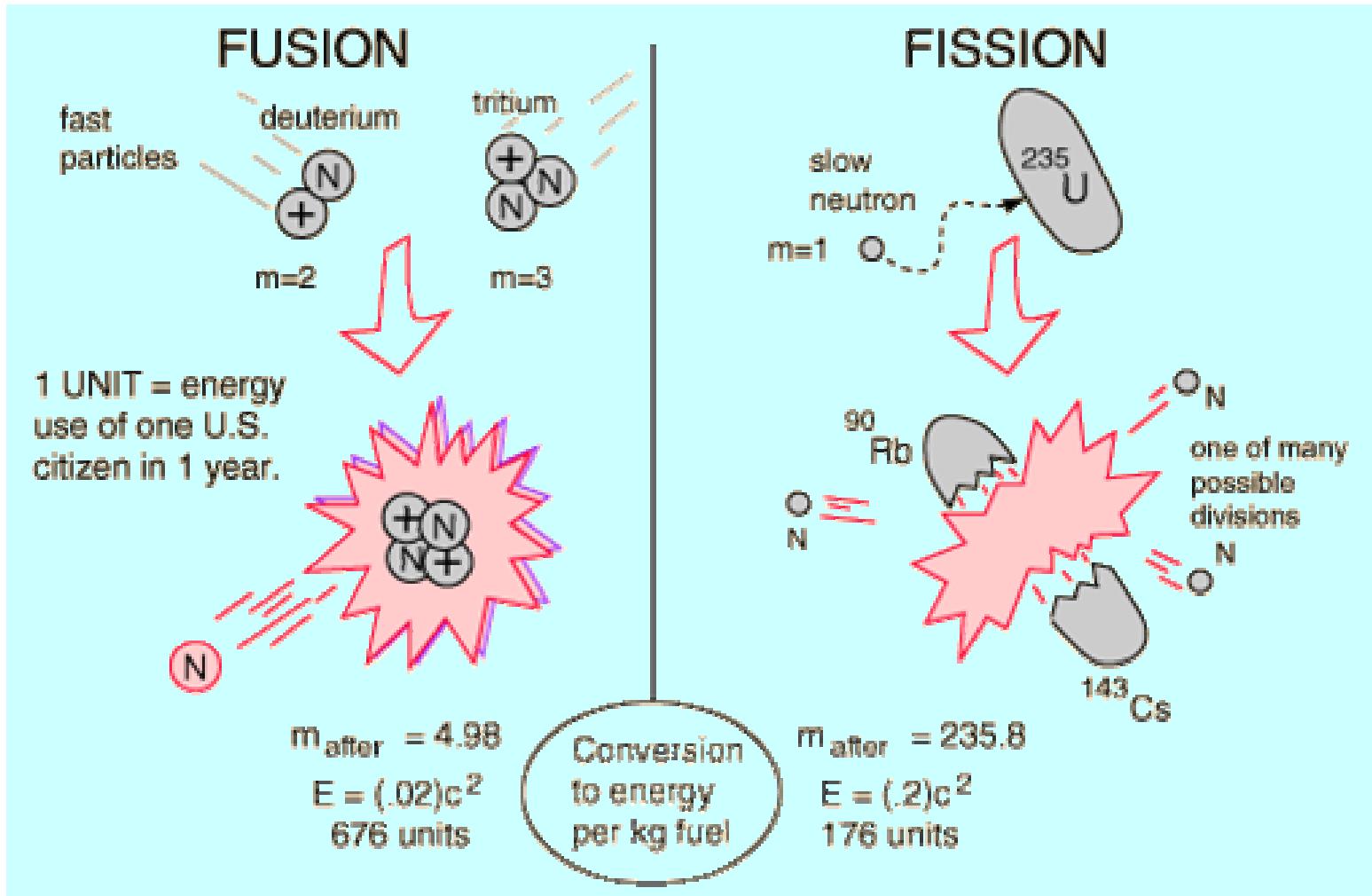
# **Struttura del nucleo: *modello a goccia***

Tale modello fu proposto nel 1936 da Bohr per spiegare un particolare tipo di fenomeno di risonanza che si verifica nelle reazioni nucleari.

Se si immagina di colpire il nucleo bersaglio con un proiettile si ottiene un **nucleo composto eccitato**, mentre l'energia del proiettile si distribuisce probabilisticamente fra tutti i nucleoni.

In una fase successiva una particella potrebbe assumere la maggior parte dell'energia disponibile ed essere espulsa dal nucleo (esempio: **fissione nucleare**).

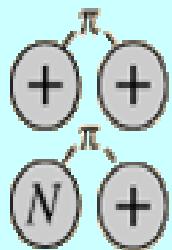
# Struttura del nucleo: *fusion e fissione del nucleo*



# Forze di coesione nucleare

Per spiegare la stabilità del nucleo, tenendo conto delle elevate forze di repulsione elettrostatica tra i protoni e dell'enorme energia di legame che mantiene uniti i nucleoni (40 volte l'energia elettrostatica, 10<sup>37</sup> volte l'energia gravitazionale), è stata definita un nuovo tipo di forza: **la forza nucleare**.

Sperimentalmente, bombardando con particelle ad alta energia nuclei quali il deuterio, ad esempio, e producendone la disintegrazione, è stato possibile individuare le proprietà fisiche di questo tipo di forze.

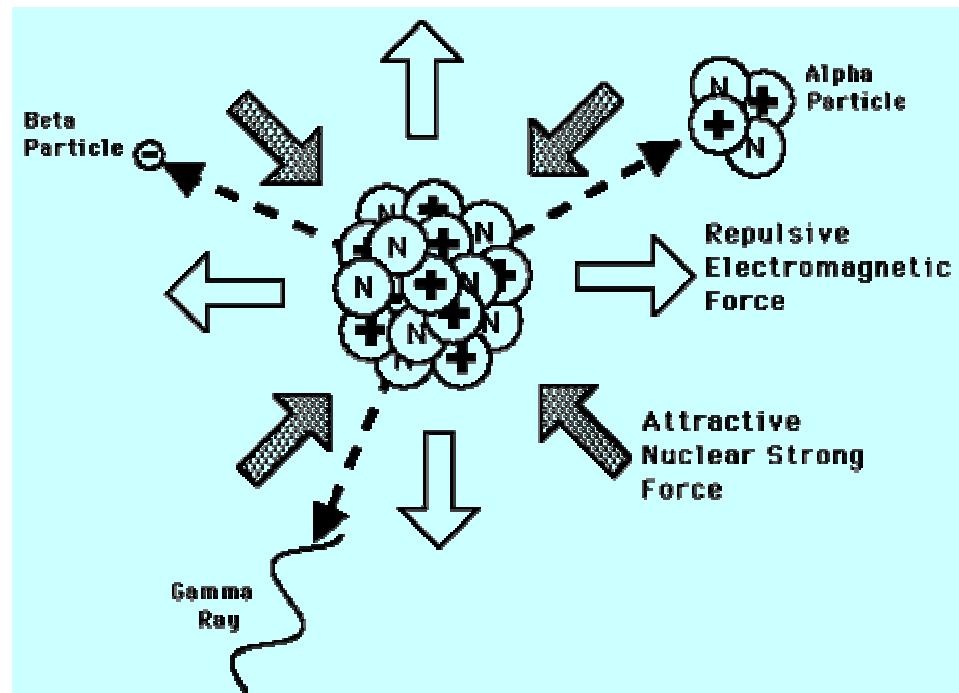
Strong		Force which holds nucleus together	Strength	Range (m)	Particle
			1	$10^{-15}$ (diameter of a medium sized nucleus)	$\pi$ , others mass > 0.1 GeV

# Forze di coesione nucleare : *raggio d'azione*

Il raggio d'azione è valutato dell'ordine di **1 fermi** pari a  $10^{-13}\text{cm}$

Ad una distanza pari a circa 4 fermi le forze nucleari eguagliano le forze elettrostatiche,

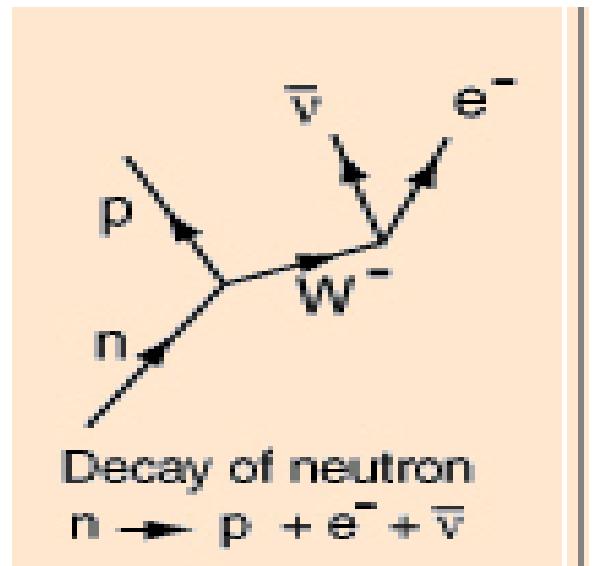
A distanze superiori del fermi, le forze nucleari sono attrattive, a valori inferiori sono fortemente repulsive.



# Forze di coesione nucleare : *nucleoni*

Le forze nucleari sono indipendenti dalla carica elettrica, agiscono tra neutroni e neutroni, tra protoni e neutroni, tra protoni e protoni.

Nell'interazione nucleare il neutrone ed il protone risultano essere **due stati** di una stessa particella detta **nucleone**.



# Forze di coesione nucleare : *teoria di Yukawa*

L'interazione tra nucleoni avviene attraverso lo scambio di una particella che trasmette nel processo di emissione e assorbimento la forza nucleare.

Tale particella è nota come **mesone  $\pi$** .



# **Forze di coesione nucleare : *energia di legame***

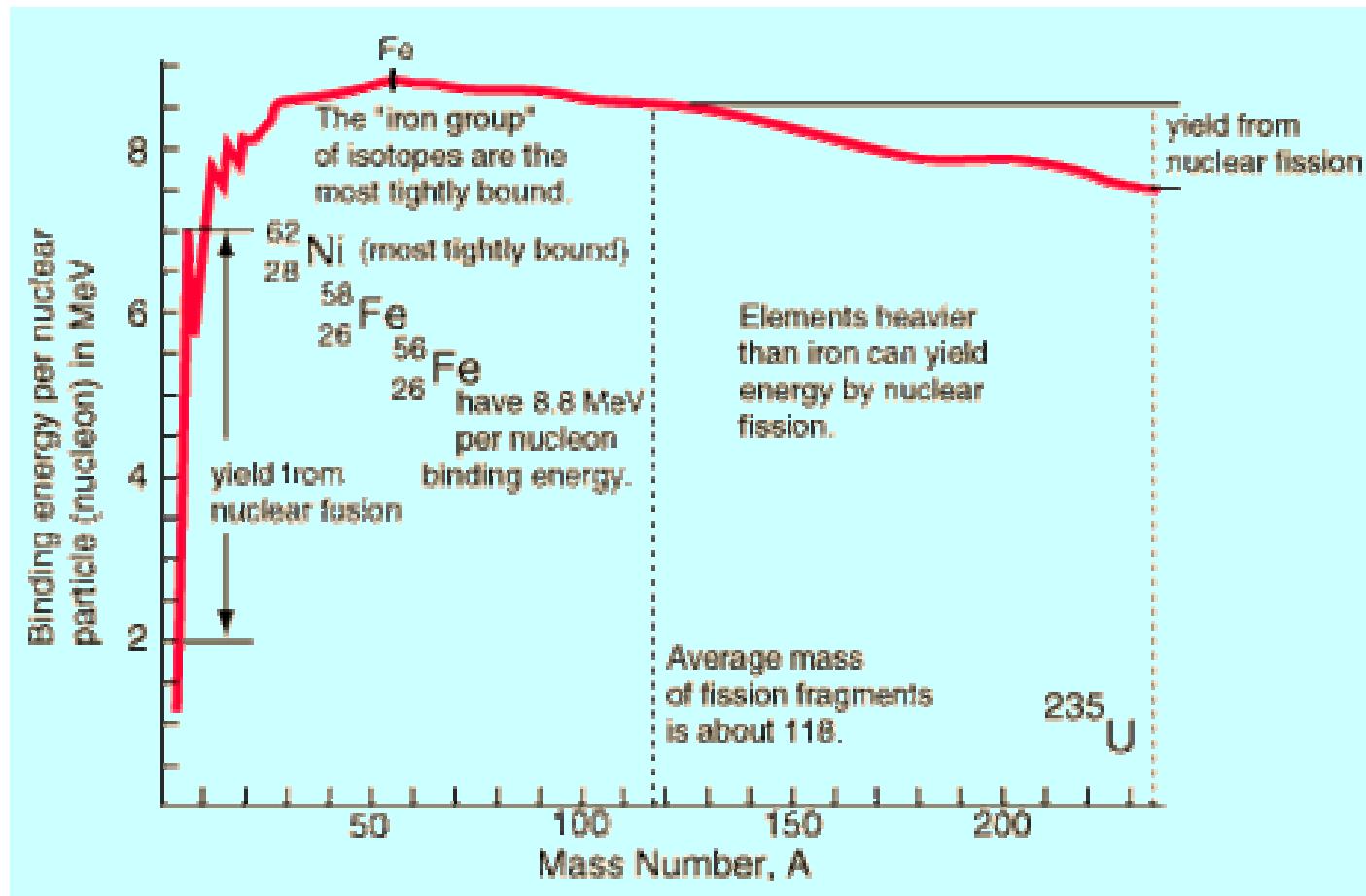
Il nucleo come insieme possiede una certa *energia di legame* che impedisce ai nucleoni di fuoriuscire.

**L'*energia di legame complessiva*** dipende direttamente dal numero di massa A.

Invece **L'*energia di legame per singolo nucleone*** cresce rapidamente con il numero di massa fino al fluoro (A=19) per poi mantenersi costante, diminuendo lentamente fino all'Uranio (A=238).

*L'energia di legame vale circa 8-9 MeV per nucleone*

# Forze di coesione nucleare : *energia di legame*



# **Forze di coesione nucleare : *difetto di massa***

Si verifica come la massa del nucleo di un elemento ( $Z, A$ ) risulta sempre inferiore alla somma delle masse dei nucleoni di cui è composto:

$$M_{z,N} < M_z + M_N$$

La differenza delle masse  $\Delta M$  viene convertita in energia in base alla legge di equivalenza stabilità dalla dinamica relativistica:  $c^2 \Delta M = E$

# Forze di coesione nucleare : *difetto di massa*

La quantità, definita come *difetto di massa*, è allora l'equivalente in massa dell'energia di legame necessaria a tenere insieme i vari costituenti del nucleo, secondo la relazione:

$$\Delta M = \frac{E_{\text{legame}}}{c^2} = Z M_p + (A-Z) M_n - M$$

Ad eccezione dei nuclei molto leggeri, **l'energia di legame** per nucleone può ritenersi in media pari a 8-9 MeV.