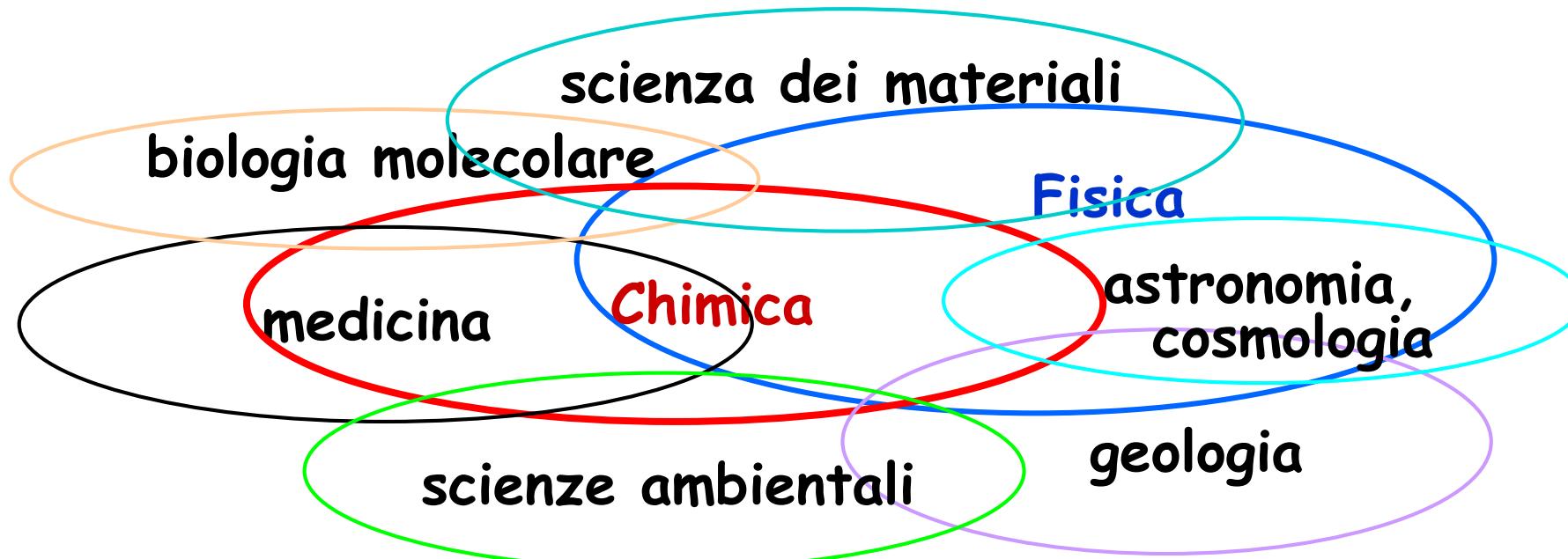


Chimica

- Scienza sperimentale con ruolo centrale rispetto ad altre scienze
- Studia la materia per comprendere e spiegare:
 - 1) Struttura e proprietà
 - 2) Trasformazione



Tecnologia: le radici della Chimica

Tecnologie chimiche esistono da "sempre":

Pratiche empiriche di trasformazione materia

Combustione - cottura

Condimento - conservazione di cibi

Metallurgia e protezione da corrosione

Coloranti, lavorazione fibre, concia

Farmaci, cosmetici

Concimi, fitofarmaci

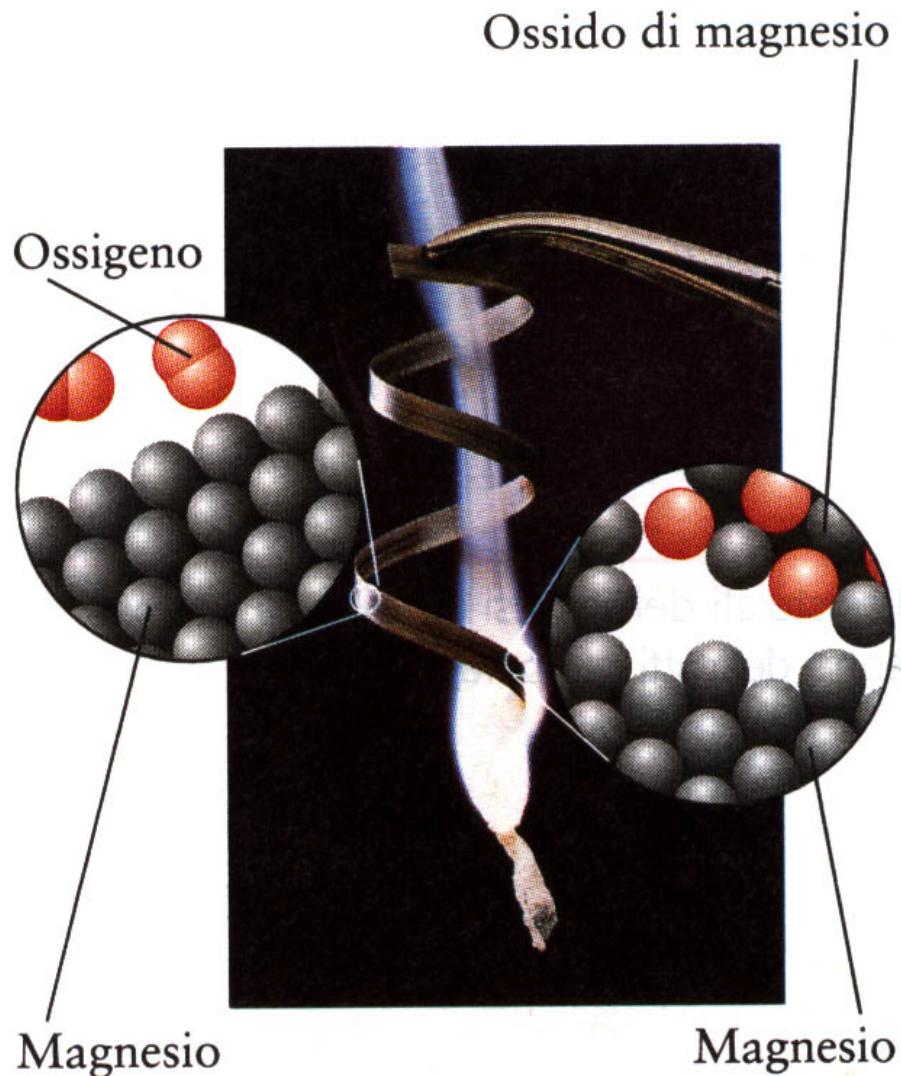
Calce, cemento etc. nelle costruzioni



Chimica scientifica: ~ 250 anni (Lavoisier, Dalton) misure quantitative: conservazione della massa in trasformazioni chimiche.

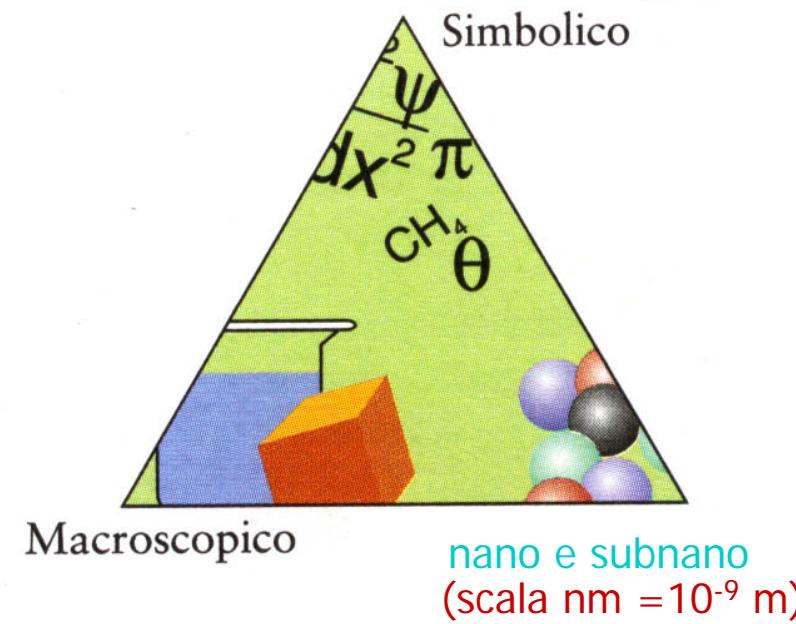
Comprendere scientificamente la struttura e previsione delle trasformazioni della materia: il modello atomico.

Chimica: articolazione su tre livelli

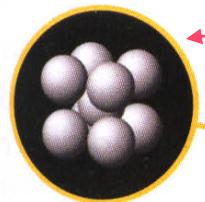


- 1) Fenomeno: scala macroscopico
- 2) Fenomeno: scala microscopica
- 3) Corretta descrizione simbolica /matematica

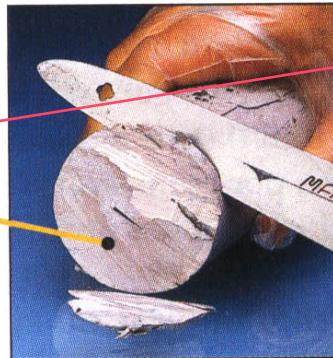
Una buona comprensione si sviluppa su tutti e tre i livelli: è difficile !



macro (esperienza quotidiana
- scala $\sim 10^{-2}$ m)



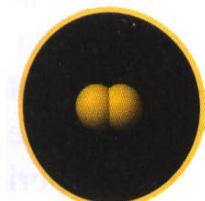
Sodio solido, Na



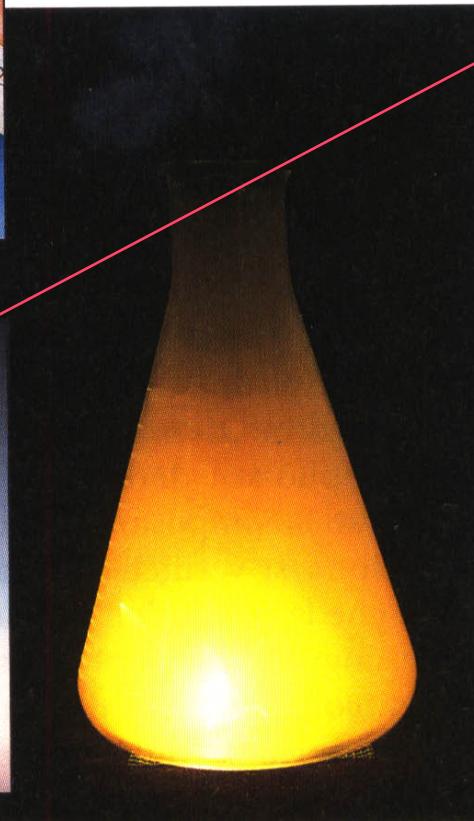
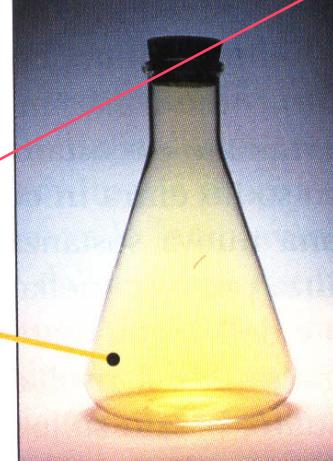
nano e subnano
(scala nm = 10^{-9} m)



Cloruro di sodio solido, NaCl



Cloro gassoso, Cl₂



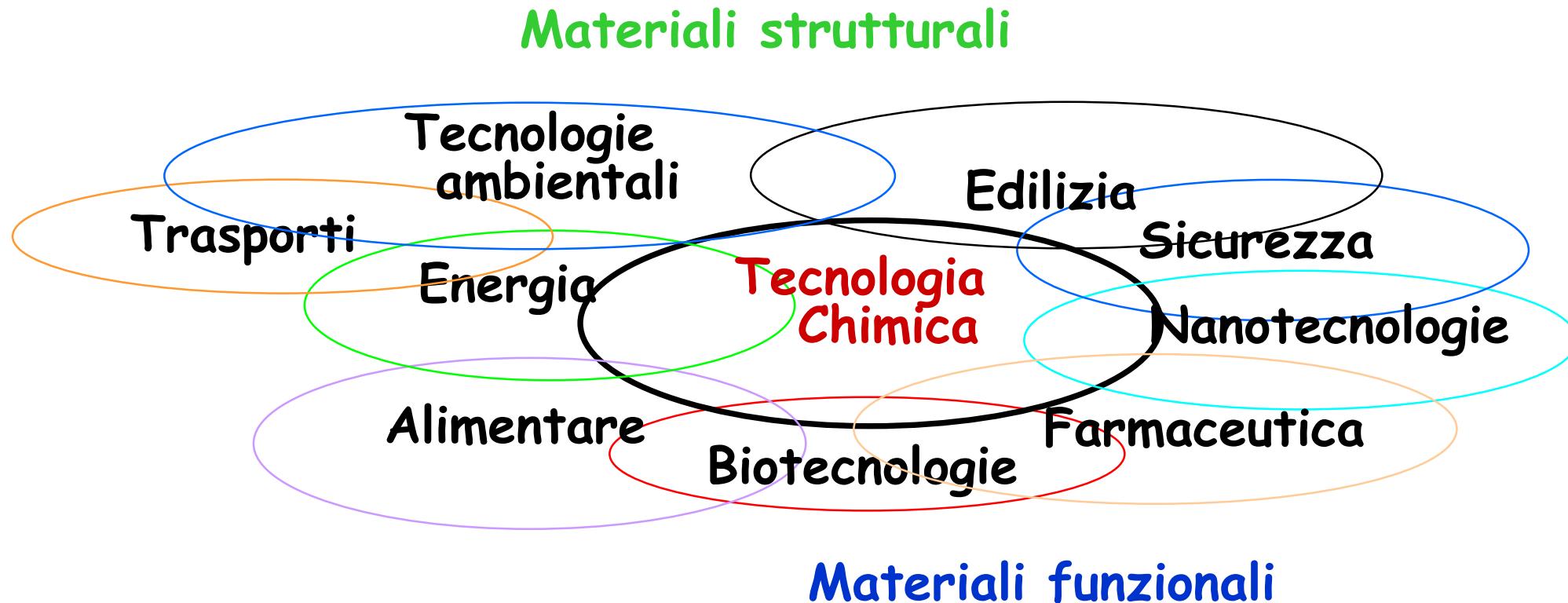
simbolico



Tecnologia Chimica Moderna

Molte tecnologie sono basate su comprensione e procedimenti chimici: ruolo centrale rispetto a processi industriali di sviluppo e trasformazione dei materiali

Materiale = materia con proprietà ottimizzate per applicazioni specifiche o per realizzare manufatti determinati



Tecnologie chimiche \leftrightarrow Ambiente

Sono una delle cause dei problemi ambientali ma anche lo strumento principale per risolverli razionalmente:

⇒ Nuove tecnologie “più pulite”; interventi di risanamento

Controlli e legislazione più stringente: il problema è sociale, economico e politico

Normativa CEE: REACH* (2007): registrazione presso ECHA**

- di tutti i prodotti chimici già in produzione
- di nuovi composti sul mercato in quantità > 10 kg/anno

Aziende produttrici di prodotti chimici nuovi devono valutare:

- effetti ambientali
- tossicologia animale e vegetale
- cicli di vita dei prodotti, gestione rifiuti

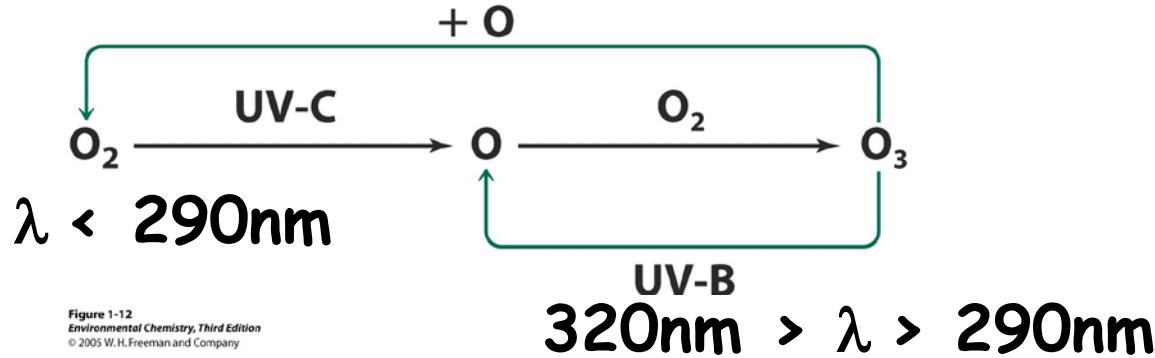
Principio di precauzione: non implementare su scale ampie tecnologie le cui ricadute non si è certi di potere controllare

Es.: clorofluorocarburi (CFC) e “buco nello strato di ozono”

* REACH = Registration, authorization & restriction of chemicals **Europ. Chem. Agency

Effetti imprevisti dei CFC sull' O_3 atmosferico

L'ozono (O_3) è un gas che assorbe radiazioni UV
proteggendo la terra



Distruzione dell'ozono: da $C_nF_{2n+2-m}X_m$ ($X = Cl\cdot$)
(~10-300 anni di vita nell'atmosfera)

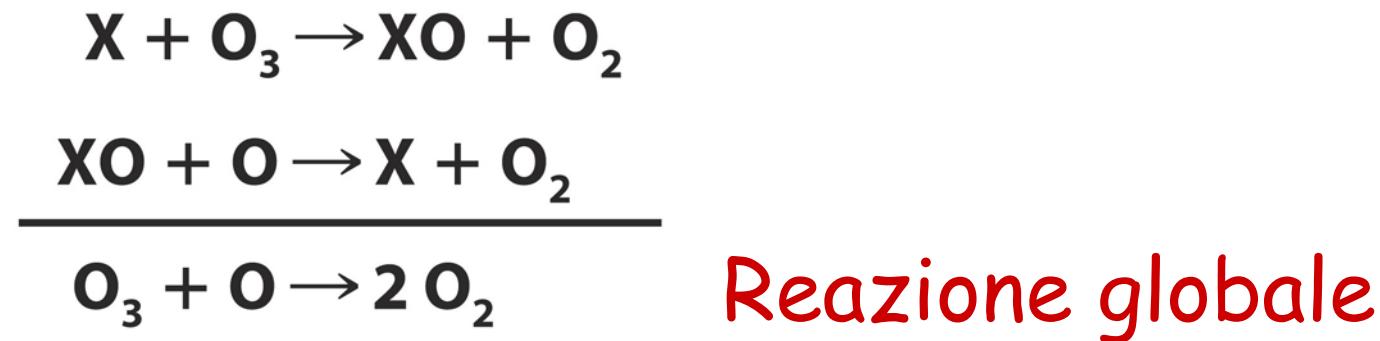


Figure 1-15 part 1
Environmental Chemistry, Third Edition
© 2005 W.H. Freeman and Company

CHIMICA: scienza sperimentale

**è necessario conoscere la fenomenologia
che si vuole spiegare**

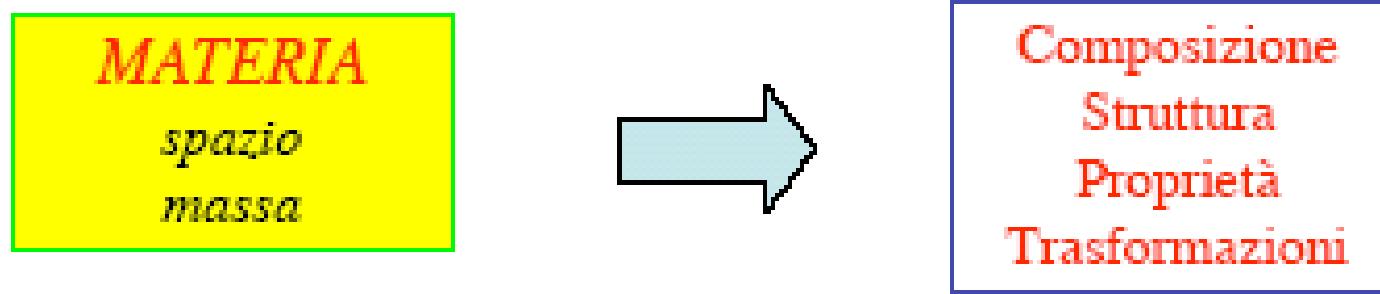
FONDAMENTI

**Definizioni, concetti di base, fenomeni
che dovreste già conoscere.**

**Anticipazione dei fenomeni che
approfondiremo, dei metodi che
useremo**

Fondamenti:

Descrizione e classificazione della materia:



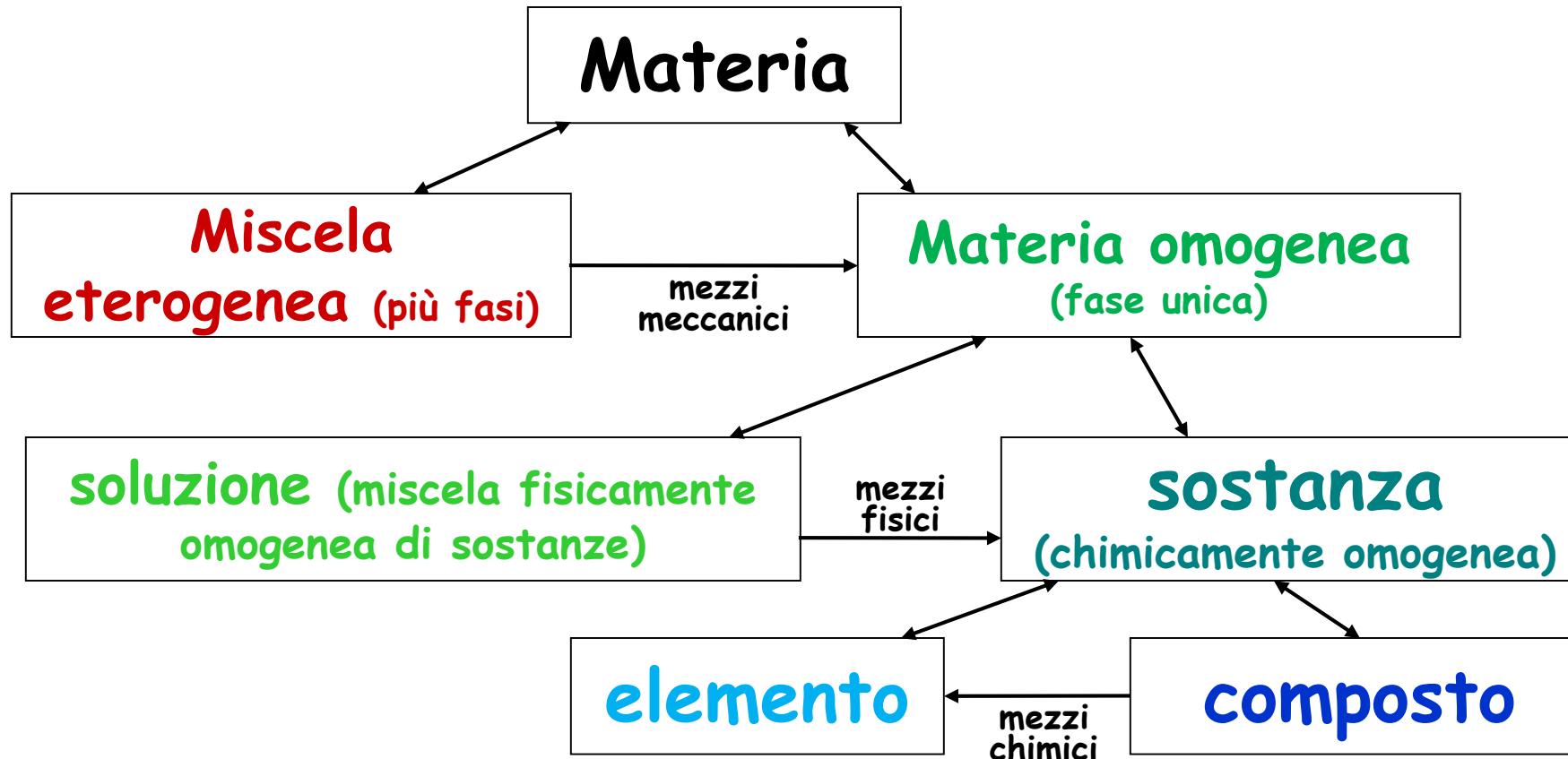
Ad es.: vari modi in cui la materia si presenta



Struttura: 3 stati di aggregazione

Classificazione e descrizione della materia:

Consideriamo **composizione** e **struttura** su scala macroscopica



fase = porzione uniforme di materia, a
composizione omogenea

Classificazione della materia

Miscele eterogenee (le più comuni)

composizione che varia da punto a punto

- liquide (ad es. miscela olio-acqua, etc.)
- solide (ad es. rocce: aggregati di micro cristalli differenti; legno ...; tessuti biologici, ossa etc.)

Componenti separabili con mezzi meccanici

Miscele omogenee/soluzioni (di due o più sostanze)

composizione localmente uniforme (anche a scale microscopiche)

- liquide (ad es. acqua di mare, benzina, "aceto", etc.)
- solide (ad es. leghe metalliche come ottone)
- gassose (es. aria; tutte le miscele di gas sono omogenee).

Componenti separabili con metodi fisici: distillazione, cristallizzazione, adsorbimento selettivo

Classificazione della materia:

Sostanza

Materia con proprietà fisiche e proprietà chimiche univocamente definite (e.g. punto di ebollizione, di fusione, proprietà spettroscopiche, magnetiche, reattività con ossigeno, con idrogeno, con acidi ... etc.), uniformi e costanti.

Non è scomponibile con metodi fisici (distillazione, cristallizzazione, adsorbimento selettivo etc.) in altre più semplici.

Classificazione della materia:



sostanza che non può essere suddivisa in più sostanze a composizione differente ⇒ tutti gli atomi sono dello stesso tipo. Gli **elementi** sono classificati nella Tavola Periodica che riporta **Nome, Simbolo chimico, proprietà.** 90 elementi naturali + 21... sintetici

sostanza che può essere suddivisa con metodi chimici in differenti elementi.
I **composti** hanno **composizione definita:**
e.g. H_2O ($\text{O} = 88.81\%$ e $\text{H} = 11.19\%$ in peso)
Proprietà dipendono da
a) composizione: KCl , NaI ...,
b) modo in cui sono legati gli atomi: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, CH_3OCH_3

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 1 H hydrogen 1.007 94(7)	2	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight												18 2 He helium 4.002 602(2)			
3 Li lithium 6.941(2)	4 Be beryllium 9.012 182(3)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
11 Na sodium 22.989 770(2)	12 Mg magnesium 24.3050(6)	3	4	5	6	7	8	9	10	5 B boron 10.811(7)	6 C carbon 12.0107(8)	7 N nitrogen 14.0067(2)	8 O oxygen 15.9994(3)	9 F fluorine 18.998 4032(5)	10 Ne neon 20.1797(6)		
19 K potassium 39.0983(1)	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.955 910(8)	22 Ti titanium 47.867(1)	23 V vanadium 50.9415(1)	24 Cr chromium 51.9961(6)	25 Mn manganese 54.938 049(9)	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933 200(9)	28 Ni nickel 58.6934(2)	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.409(4)	31 Ga gallium 69.723(1)	32 Ge germanium 72.64(1)	33 As arsenic 74.921 60(2)	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine 79.904(1)	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.4678(3)	38 Sr strontium 87.62(1)	39 Y yttrium 88.905 85(2)	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906 38(2)	42 Mo molybdenum 95.94(2)	43 Tc technetium [98]	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.905 50(2)	46 Pd palladium 106.42(1)	47 Ag silver 107.8682(2)	48 Cd cadmium 112.411(8)	49 In indium 114.818(3)	50 Sn tin 118.710(7)	51 Sb antimony 121.760(1)	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.904 47(3)	54 Xe xenon 131.293(6)
55 Cs caesium 132.905 45(2)	56 Ba barium 137.327(7)	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.9479(1)	74 W tungsten 183.84(1)	75 Re rhenium 186.207(1)	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.217(3)	78 Pt platinum 195.078(2)	79 Au gold 196.966 55(2)	80 Hg mercury 200.59(2)	81 Tl thallium 204.3833(2)	82 Pb lead 207.2(1)	83 Bi bismuth 208.980 38(2)	84 Po polonium [209]	85 At astatine [210]	86 Rn radon [222]
87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [262]	106 Sg seaborgium [266]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [277]	109 Mt meitnerium [268]	110 Ds darmstadtium [271]	111 Rg roentgenium [272]							



57 La lanthanum 138.9055(2)	58 Ce cerium 140.116(1)	59 Pr praseodymium 140.907 65(2)	60 Nd neodymium 144.24(3)	61 Pm promethium [145]	62 Sm samarium 150.36(3)	63 Eu europium 151.964(1)	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.925 34(2)	66 Dy dysprosium 162.500(1)	67 Ho holmium 164.930 32(2)	68 Er erbium 167.259(3)	69 Tm thulium 168.934 21(2)	70 Yb ytterbium 173.04(3)	71 Lu lutetium 174.967(1)
89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232.0381(1)	91 Pa protactinium 231.035 88(2)	92 U uranium 238.028 91(3)	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am americium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkelium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobelium [259]	103 Lr lawrencium [262]

Notes

- "Aluminum" and "cesium" are commonly used alternative spellings for "aluminium" and "caesium."
- IUPAC 2001 standard atomic weights (mean relative atomic masses) are listed with uncertainties in the last figure in parentheses [R. D. Liss, *Pure Appl. Chem.* **75**, 1107-1122 (2003)]. These values correspond to current best knowledge of the elements in natural terrestrial sources. For elements that have no stable or long-lived nuclides, the mass number of the nuclide with the longest confirmed half-life is listed between square brackets.
- Elements with atomic numbers 112 and above have been reported but not fully authenticated.

Alcune Proprietà Caratteristiche del Rame (Cu)

Proprietà Fisiche

Lucentezza metallica rosso-bruna

Facilmente manipolabile in fogli (malleabile) e in fili (duttile)



Buon conduttore di calore e di elettricità

Si può fondere e mescolare con zinco per formare l'ottone



Densità: 8.95 g/cm³

Punto fusione: 1083 °C

Punto ebollizione: 2570 °C

Proprietà Chimiche

Forma nel tempo un carbonato verde in aria umida



Forma una soluzione blu scura in ammoniaca acquosa



Reagisce con gli acidi nitrico e solforico



Simboli Chimici: rappresentare composizione (e struttura) con formule compatte

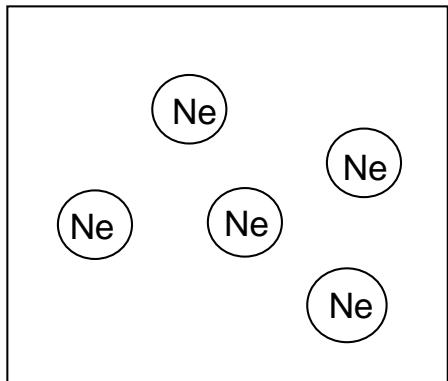
Atomi

O C Fe N H Ne K Ca

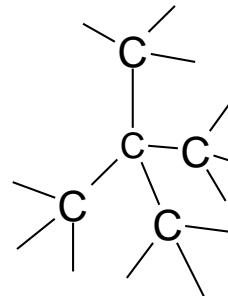
Elementi (sostanze elementari)

(sostanze pure contenenti atomi di un solo elemento)

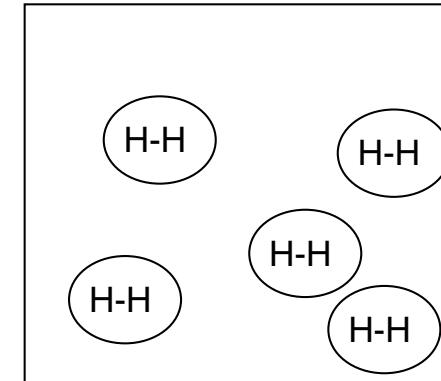
Ne He C Fe Hg O₂ N₂ H₂ I₂



Ne



C



H₂

Composti (sostanze contenenti atomi di vari elementi)

H₂O CO₂ CH₄ SiO₂ NaCl Fe₂O₃

pedisci: numero di atomi di un tipo presenti nelle unità formula di un dato composto (nelle molecole se è molecolare)

Composizione elementare nell'universo disomogenea:

Oltre il 98% della massa della crosta terrestre è costituita dai seguenti 13 elementi

	<i>% in massa</i>
• Ossigeno (O)	46,1
• Silicio (Si)	25,7
• Alluminio (Al)	7,51
• Ferro (Fe)	4,70
• Calcio (Ca)	3,99
• Sodio (Na)	2,64
• Potassio (K)	2,40
• Magnesio (Mg)	1,94
• Cloro (Cl)	1,88
• Idrogeno (H)	0,88
• Titanio (Ti)	0,580
• Fosforo (P)	0,120
• Carbonio (C)	0,087

In altri ambienti (e.g. atmosfera, oceani, luna...) è differente

Struttura atomica della materia:

Le origini della teoria atomica

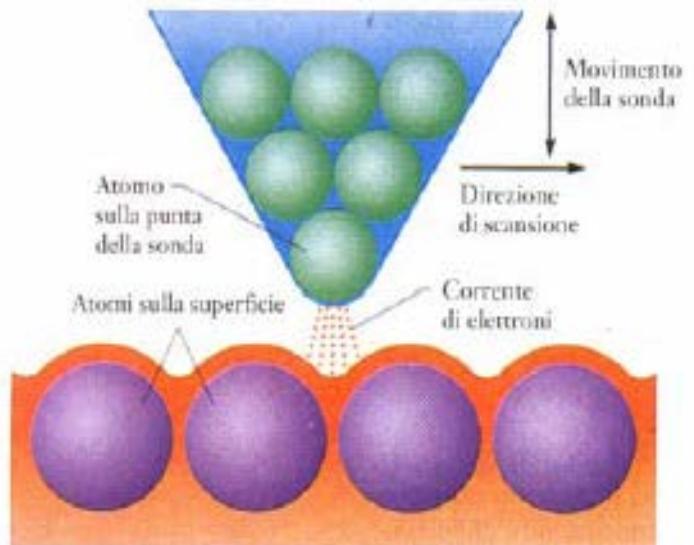
Democrito (468-370 a.c.)

Epicuro (341-270 a.c.)

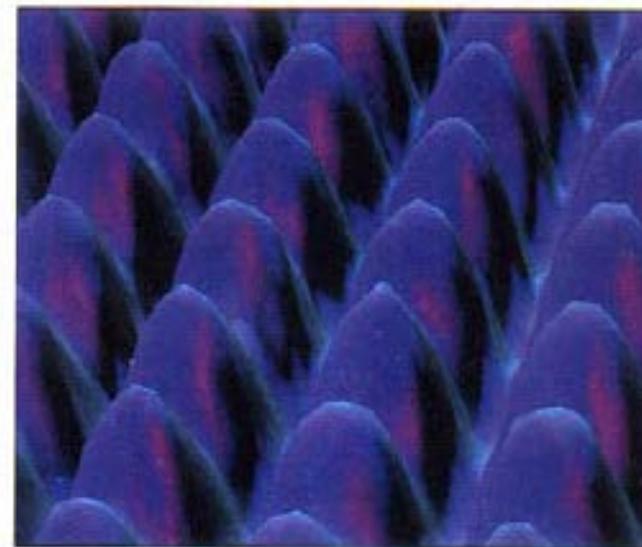
Lucrezio (96-11 a.c.)

La materia è costituita da atomi
Atomos = indivisibile

Microscopia STM



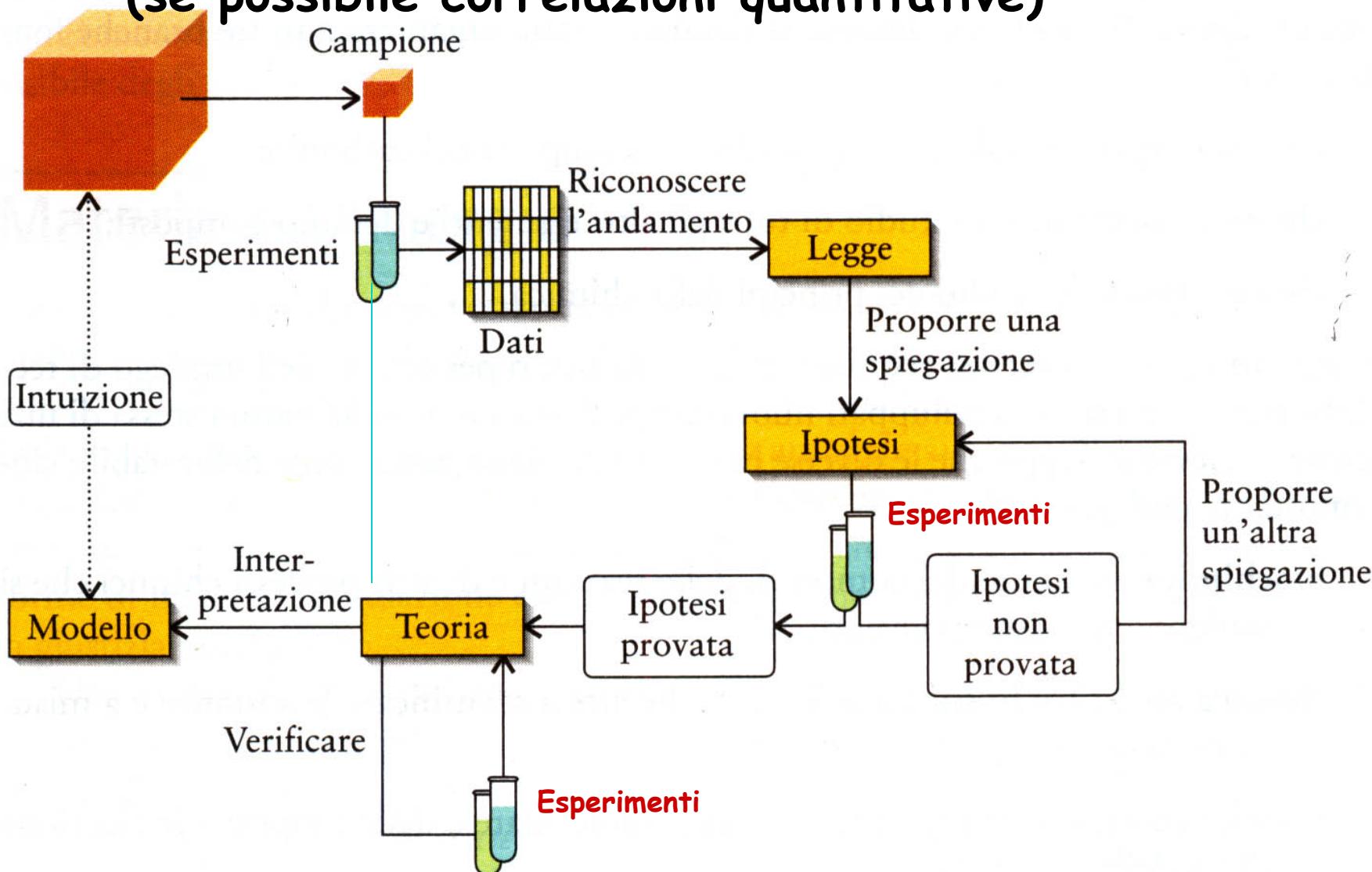
IBM, Almaden Research Center, San Jose CA, USA



Superficie di Ni metallico
cristallino solido

Chimica: metodo sperimentale-scientifico

Osservazioni sperimentali ↔ Modello ↔ Leggi
(se possibile correlazioni quantitative)



Leggi sperimentali della chimica:

1. Legge di conservazione della massa (1774) - Lavoisier (1743-94)
2. Legge della composizione costante (1799) - Proust (1754-1826)

Tutti i campioni di una data sostanza hanno la stessa composizione, cioè le stessa % in peso degli elementi costituenti.

Esempio: 20.0 g di CaCO_3

massa	frazione in massa	% in massa
8.0 g Ca	0.40 di calcio	40%
2.4 g C	0.12 di carbonio	12%
9.6 g O	0.48 di ossigeno	48 %
20.0 g totali	1.00	100%

Teoria atomica: Dalton (1808)



1. La materia è formata da atomi: particelle piccole e indivisibili con non possono essere create nè distrutte.
2. Gli atomi di un elemento sono identici in tutte le proprietà e differenti da quelli di altri elementi.
3. Gli atomi di un elemento non possono essere convertiti in altri.
4. I composti sono costituiti da una combinazione in uno specifico rapporto di atomi di differenti elementi

Leggi sperimentali della chimica (II):

3. Legge delle proporzioni multiple (Dalton, 1804)

Se due elementi formano più di un composto, le masse di un elemento che si combinano con una data massa di un altro stanno tra loro in rapporti di piccoli numeri interi. (esempio $C + O_2 \dots \rightarrow CO_2, CO$ etc.)

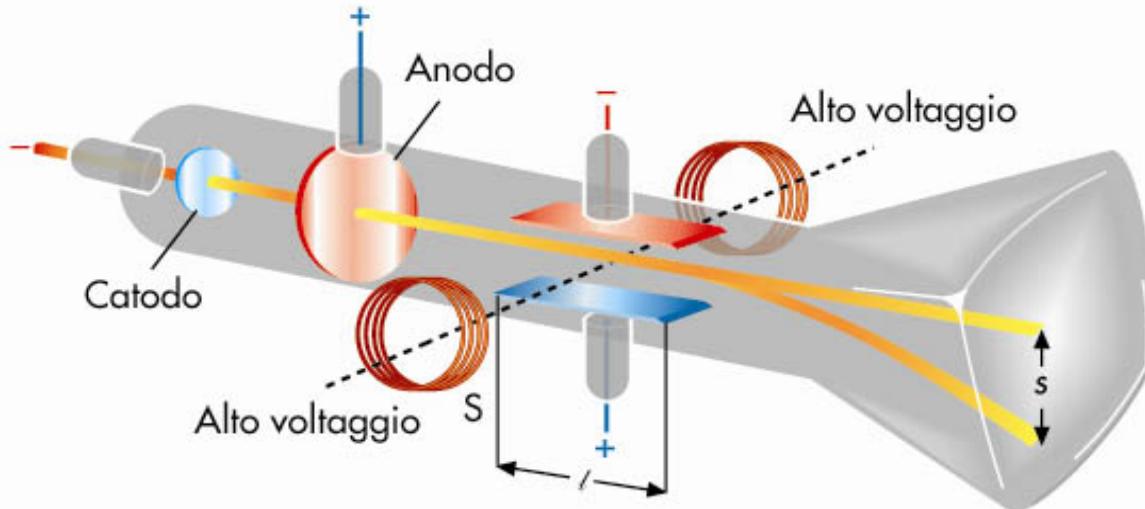
4. Principio di Avogadro (1811) - Avogadro (1776-1856)

Volumi uguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di P e T, contengono lo stesso numero di molecole. (Formulato nel 1811, viene «accolto» intorno al 1860 grazie al lavoro di Cannizzaro)

Struttura discreta, particellare (\Rightarrow atomica) della materia

J.J.Thomson

Esperimento raggi catodici:
catodi di metalli differenti
emettono la stessa radiazione



1897

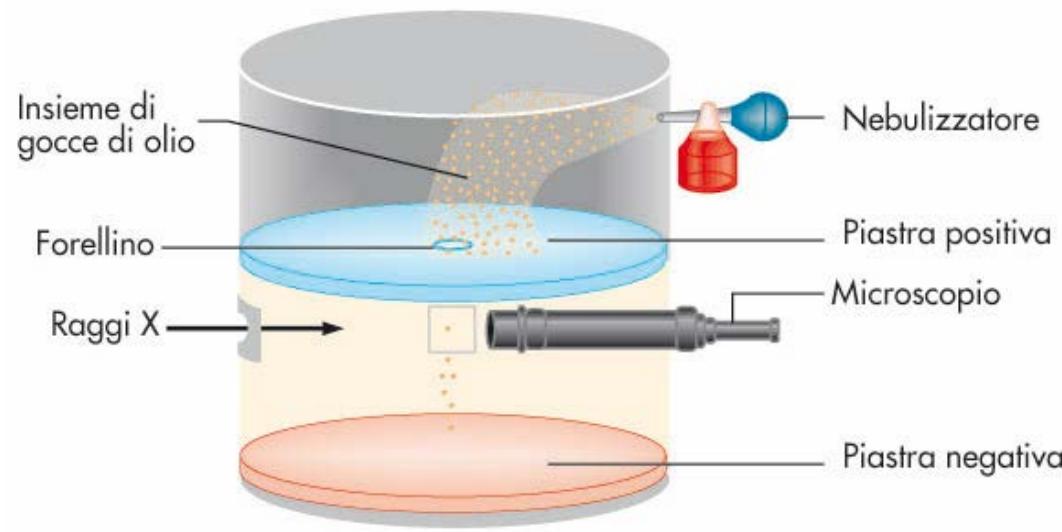
$$e/m_e = 2sE/l^2B^2$$

Scoperta dell'elettrone: carica elettrica "viaggia" in particelle
con rapporto carica/massa $e/m_e = 1.7588196 \times 10^{11} C \text{ kg}^{-1}$

\Rightarrow In molti metalli sono presenti particelle comuni e^- a
massa estremamente piccola e carica (-) molto grande

L'elettrone: carica (e massa)

Esperimento di Millikan (1909)



Goccioline olio ionizzate - (cariche negativamente): in differenti momenti una stessa goccia ha q differenti

Forze in equilibrio:

$$mg = qE$$

q multiplo intero
di $e = 1.60 \times 10^{-19} C$

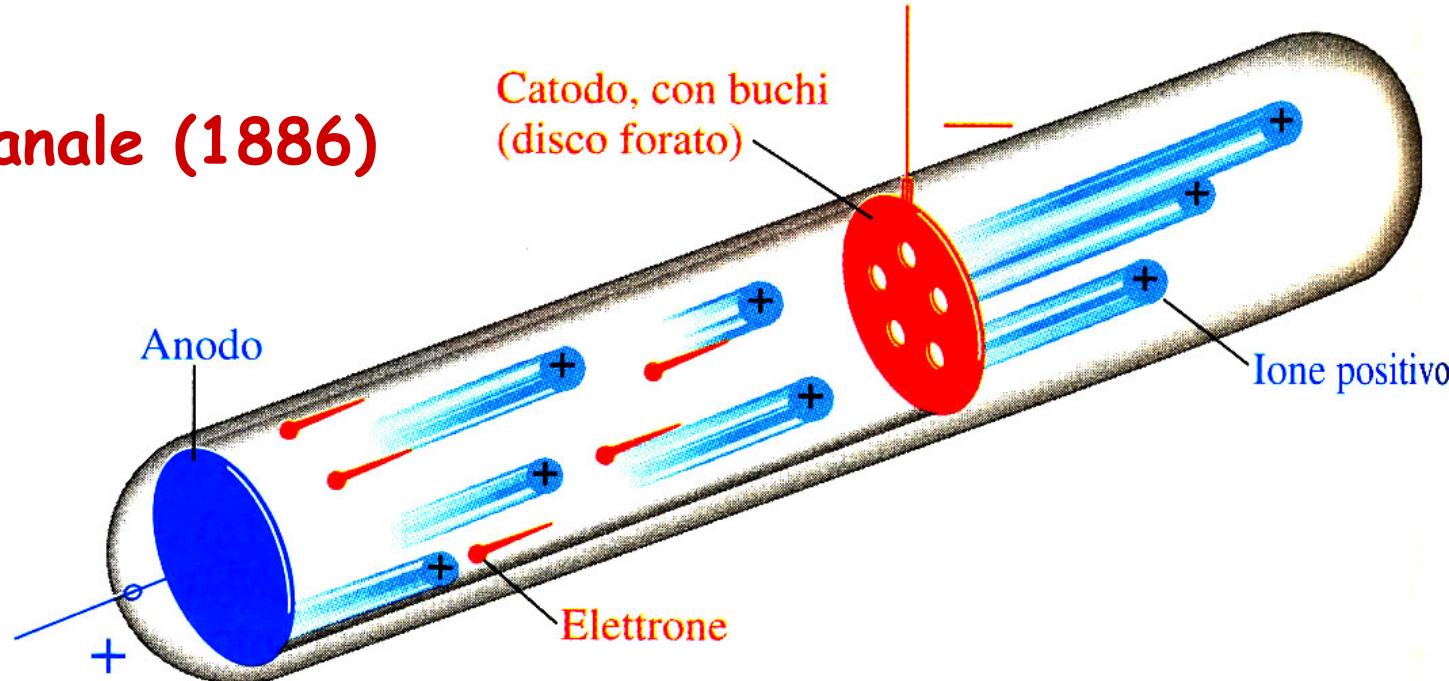
Valori attuale e : $1.6021773 \times 10^{-19} C$

Dal rapporto e/m_e $m_e = 9.109390 \times 10^{-31} kg$

$1 eV = 1.6022 \times 10^{-19} J$ (N.B. $1 J = 1 C \cdot V$)

Struttura atomica della materia

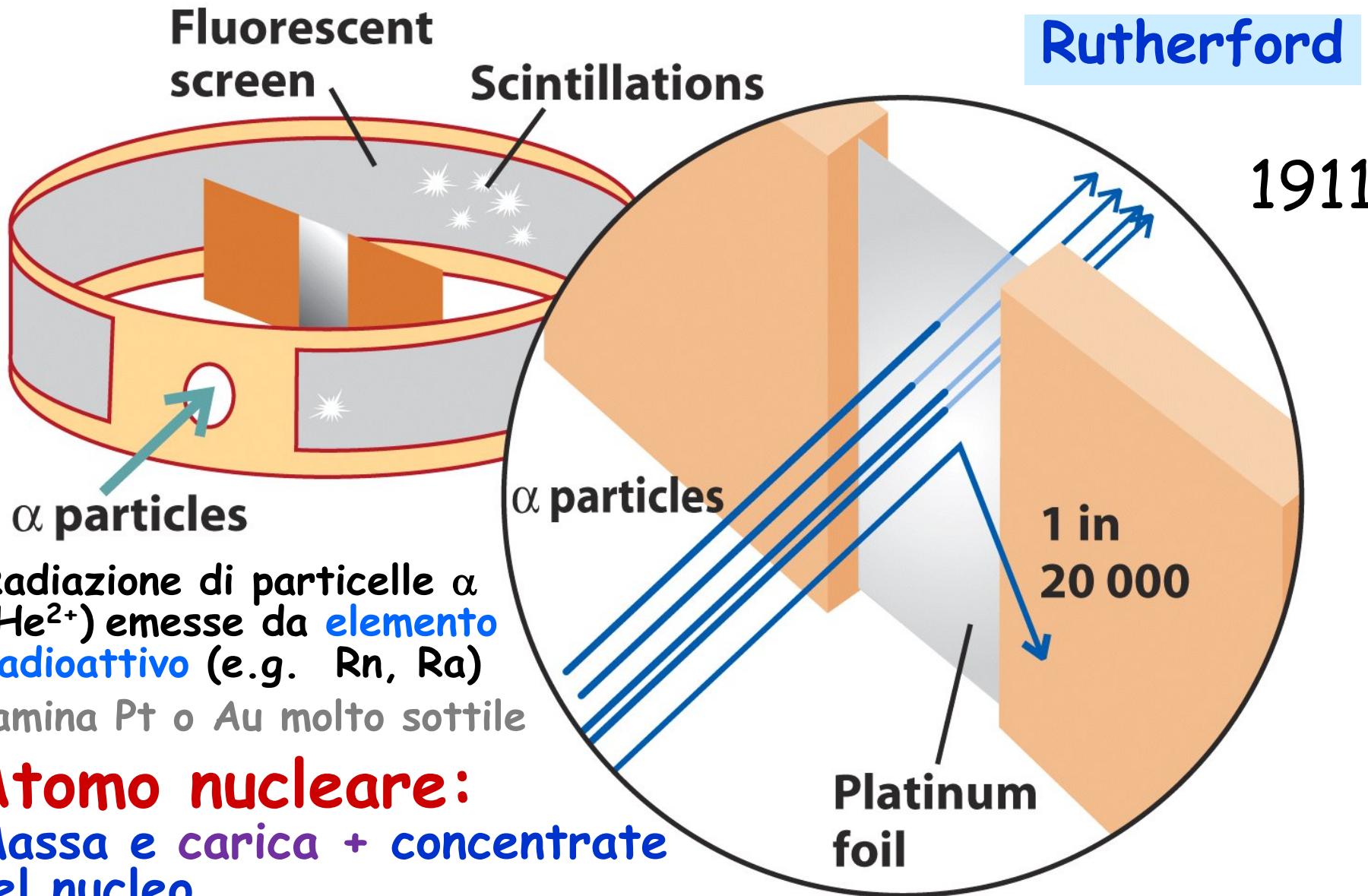
raggi canale (1886)



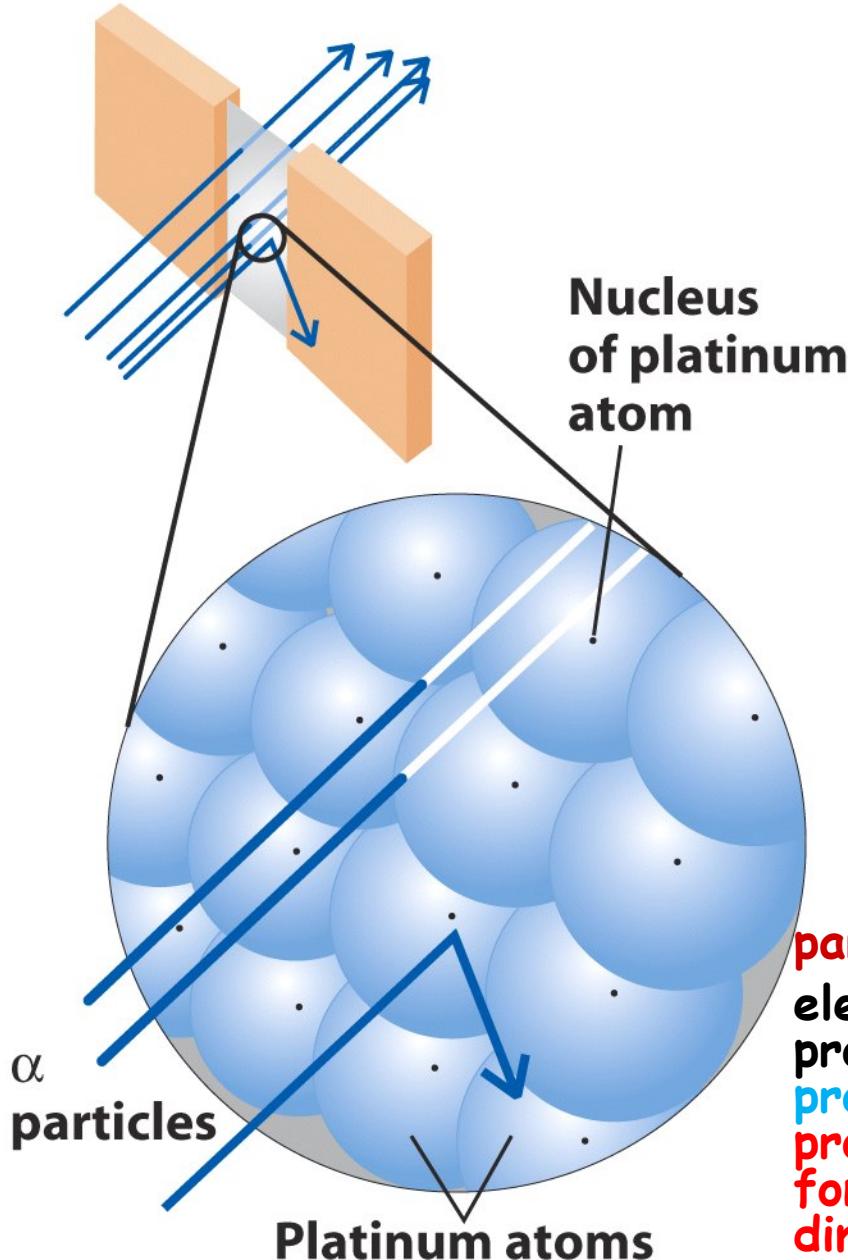
Rapporti approssimativi q^+/m per varie specie gassose ionizzate + presenti (Wien 1899) \Rightarrow dipendono dal tipo di gas. Le masse atomiche sono diverse a seconda del tipo di atomo, migliaia di volte quelle dell'elettrone, e difficili da razionalizzare !

Struttura atomica della materia:

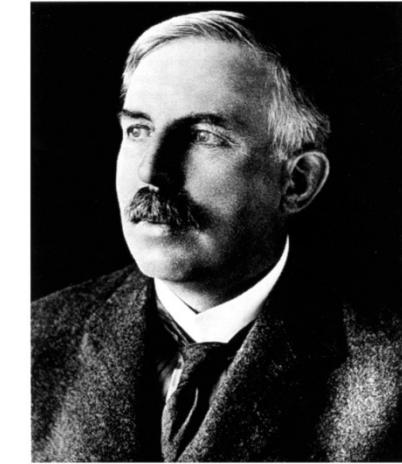
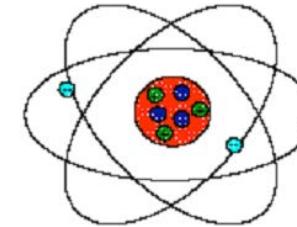
Ipotesi iniziale: atomo elettricamente neutro a distribuzione di massa e carica + ~ omogenea nel volume. Superata da esperimento di:



Modello atomico di Rutherford



1911



Modello planetario con elettroni che ruotano intorno al nucleo

Il nucleo contiene la quasi totalità della massa e la carica positiva

particella	simbolo	carica	massa (kg)
elettrone	e^-	-1	9.109×10^{-31}
protone	p	+1	1.673×10^{-27}

protone = nucleo atomo H
proposto come particella subatomica fondamentale nel 1920, sempre da Rutherford, dimostrando che era «contenuto» in atomi di N

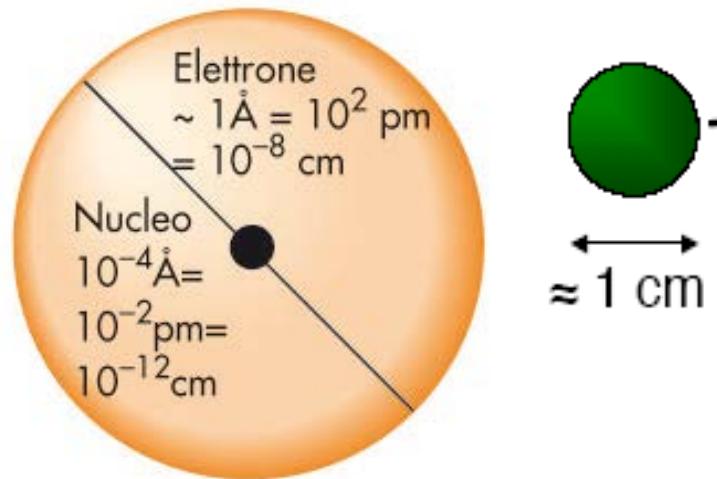
Atomo nucleare: le dimensioni dell'atomo e del nucleo

Esempio: Rame (Cu), Ferro (Fe), ...

Raggio nucleare

Valore sperimentale: $r_{\text{nucl}} \approx 10^{-4} \text{ \AA}$

$$r_{\text{at}}/r_{\text{nucl}} \approx 10000$$



Proprietà e dimensioni dell'atomo (neutro) dipendono molto da:
nr. di elettroni = nr di protoni = Z = numero atomico
Gli elettroni sono periferici \Rightarrow determinano reattività e raggio

La Tavola periodica

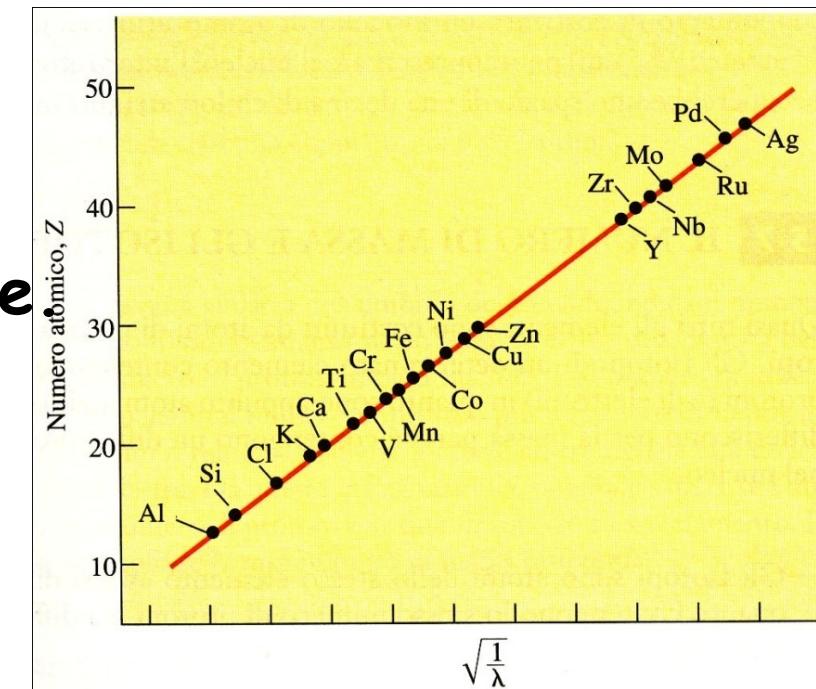
masse atomiche relative medie aumentano
con Z, ma con (rare) eccezioni !

1	H	Hydrogen 1.01	2	He	Helium 4.00
3	Li	Lithium 6.94	4	Be	Beryllium 9.01
11	Na	Sodium 22.99	12	Mg	Magnesium 24.31
19	K	Potassium 39.10	20	Ca	Calcium 40.08
37	Rb	Rubidium 84.49	38	Sr	Strontrium 87.62
55	Cs	Cesium 132.91	56	Ba	Barium 137.33
87	Fr	Francium 223.02	88	Ra	Radium 226.03
1			89-103	Actinides	
2			104	Rf	Rutherfordium [261]
3			105	Db	Dubnium [262]
4			106	Sg	Seaborgium [266]
5			107	Bh	Bohrium [264]
6			108	Hs	Hassium [269]
7			109	Mt	Meltnerium [268]
8			110	Ds	Darmstadtium [269]
9			111	Rg	Roentgenium [272]
10			112	Cn	Copernicum [277]
11			113	Uut	Ununtrium unknown
12			114	Fl	Flerovium [289]
13			115	Uup	Ununpentium unknown
14			116	Lv	Livermorium [298]
15			117	Uus	Ununseptium unknown
16			118	Uuo	Ununoctium unknown
17					
18					

57	La	Lanthanum 138.91	58	Ce	Cerium 140.12	59	Pr	Praseodymium 140.91	60	Nd	Neodymium 144.24	61	Pm	Promethium 144.91	62	Sm	Samarium 150.36	63	Eu	Europlum 151.97	64	Gd	Gadolinium 157.25	65	Tb	Terbium 158.93	66	Dy	Dysprosium 162.50	67	Ho	Holmium 164.93	68	Er	Erbium 167.26	69	Tm	Thulium 168.93	70	Yb	Ytterbium 173.04	71	Lu	Lutetium 174.97
89	Ac	Actinium 227.03	90	Th	Thorium 232.04	91	Pa	Protactinium 231.04	92	U	Uranium 238.03	93	Np	Neptunium 237.05	94	Pu	Plutonium 244.06	95	Am	Americium 243.06	96	Cm	Curium 247.07	97	Bk	Berkelium 247.07	98	Cf	Californium 251.08	99	Es	Einsteinium [254]	100	Fm	Fermium 257.10	101	Md	Mendelevium 258.10	102	No	Nobelium 259.10	103	Lr	Lawrencium [262]

Struttura atomica della materia

Numeri atomici Z facili da prevedere per atomi come H, He.
 Z più difficili da determinare per atomi grandi:
non correlati sempre a massa atomica media - più immediata da misurare (ma difficile da interpretare)



Moseley (1913): $Z = \text{cost } (\lambda)^{-1/2}$

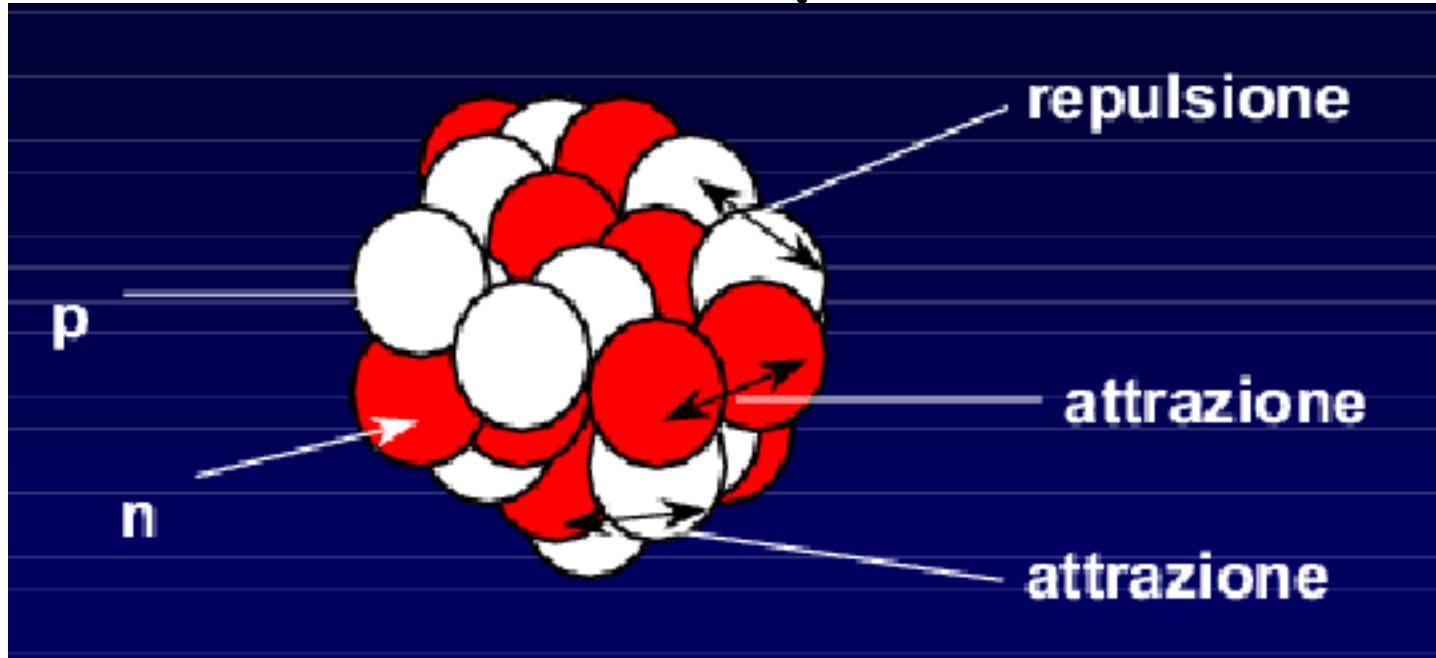
λ = lunghezza d'onda dei raggi X emessi **bombardando metalli con e⁻**
 Z = nr. atomico= nr elettroni nell'atomo = **carica del nucleo in unità di carica elettronica** = nr. di cariche positive (protoni) nel nucleo

Struttura atomica della materia

Per spiegare le masse atomiche furono ipotizzate altre particelle: i neutroni (Rutherford 1920), particelle elettricamente neutre con massa ~ identica a quella dei protoni (neutroni confermati da Chadwick nel 1930 bombardando Be con particelle α = nuclei He ad alta energia).

particella	simbolo	carica	massa (kg)
elettrone	e^-	-1	9.1094×10^{-31}
protone	p	+1	1.6726×10^{-27}
neutrone	n	0	1.6749×10^{-27}

Nucleo: interazioni tra particelle nucleari



Nuclide: specie con valori ben definiti di **A** e di **Z**
(definisce quindi tanto un certo atomo, che il suo nucleo, che tutte le altre specie con certi valori definiti di **A** e di **Z**)

Numero atomico Z = nr di protoni nel nucleo

Numero di massa A = nr di protoni + nr neutroni

Nuclidi con stesso **Z** sono dello stesso elemento **X**

Simbolo chimico X: A_zX

Nuclide elemento azoto

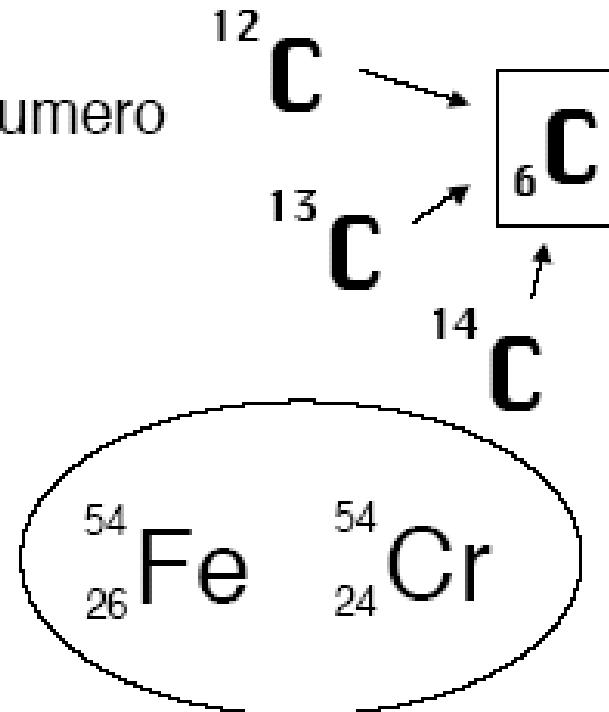
$^{14}_7 \text{N}$ $Z = 7$ $A = 14$ $A-Z = 7$
 $7 \text{ p}^+, 7 \text{ e}^-, 7 \text{ n};$ carica nucleare: +7

Isotopi

nuclidi di uno stesso elemento (con uguale numero atomico Z) con diverso numero di massa A
(*isos topos* = stesso posto)

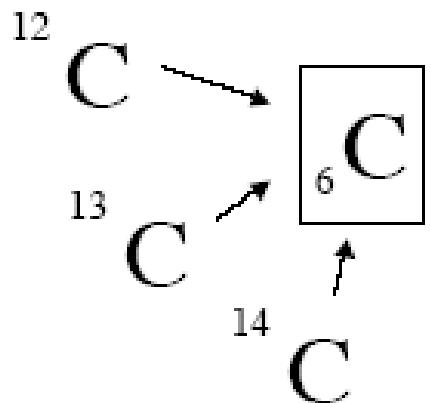
Isobari

nuclidi con diverso numero atomico Z ma con uguale numero di massa A
(*isos baros* = stesso peso)



Le proprietà chimiche e chimico-fisiche dipendono dal **numero di elettroni** (e quindi da **Z**)

Diversi isotopi di uno stesso elemento hanno uguali proprietà chimiche e chimico-fisiche



Tuttavia:

H_2O p.f. 0.00°C

p.e. 100.00°C

D_2O p.f. 3.82°C

p.e. 101.42°C

$${}^1\text{H} = \text{H} \quad {}^2\text{H} = \text{D}$$

Massa atomica

Scala unificata masse atomiche (1961):

Unità di massa atomica = u.m.a.

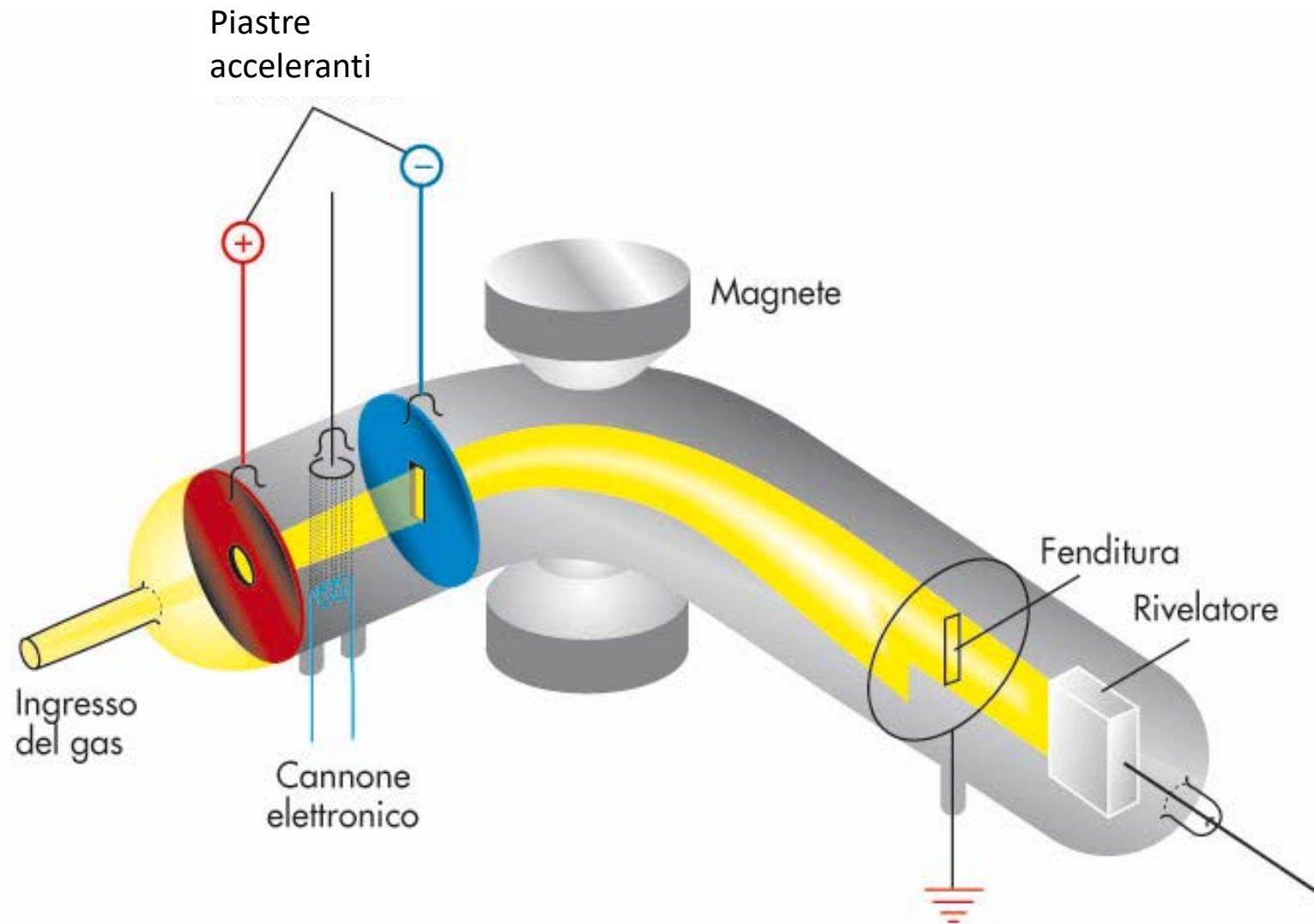
$$1 \text{ u.m.a.} = 1/12 \text{ delle massa di } {}^{12}\text{C} = \\ = 1/12 (1.992647 \cdot 10^{-23}) \text{ g} = 1.66054 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

masse atomiche relative tabulate in u.m.a.

particella	simbolo	carica	massa (kg)	massa (uma)
elettrone	e^-	-1	9.1094×10^{-31}	0.0005486
protone	p	+1	1.6726×10^{-27}	1.00726
neutrone	n	0	1.6749×10^{-27}	1.00865

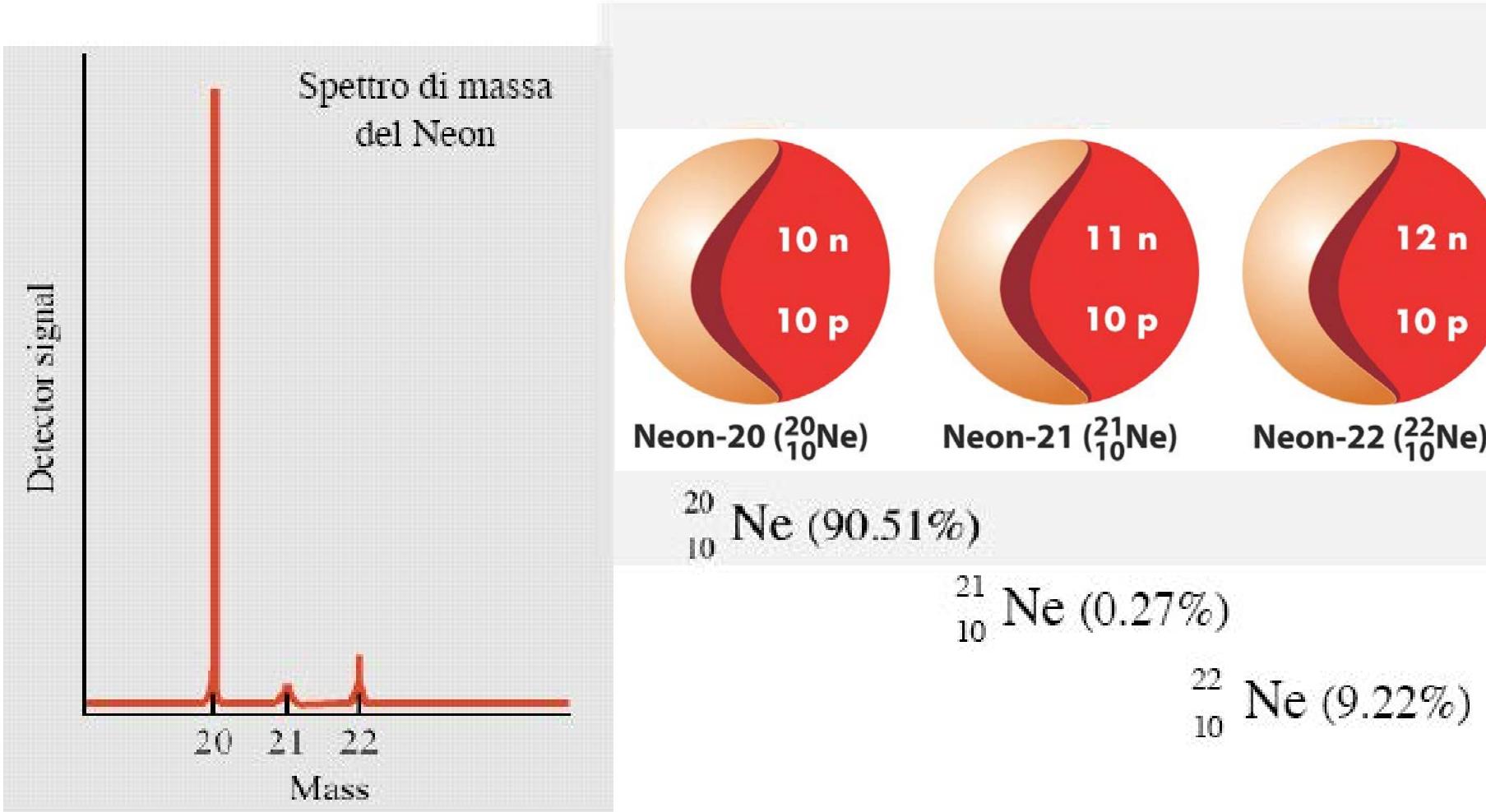
Masse assolute di atomi e nuclidi possono essere determinate con spettrometria di massa

Spettrometro di Massa



La struttura del nucleo atomico - Nuclidi e isotopi

Gli elementi in natura sono costituiti da miscele di isotopi. La proporzione degli isotopi presenti in campioni di un dato elemento è abbastanza costante, normalmente indipendente dalla provenienza.



Massa atomica

Massa atomica (peso atomico)

$$M_r \text{ } ^{12}\text{C} = \frac{1,9926 \cdot 10^{-23} \text{ g}}{1,6606 \cdot 10^{-24} \text{ g u.m.a}^{-1}} = 12,0000 \text{ u.m.a.}$$

$$M_r \text{ } ^{23}\text{Na} = \frac{38,163 \cdot 10^{-24} \text{ g}}{1,6606 \cdot 10^{-24} \text{ g u.m.a}^{-1}} = 22,9898 \text{ u.m.a.}$$

Elementi in natura \Leftrightarrow miscele di diversi isotopi

Massa atomica media relativa di un elemento \Leftrightarrow media pesata delle masse atomiche relative degli isotopi costitutivi (peso atomico)

$$\text{ } ^{12}_6 \text{C (98.89%)} M = 12.0000 \text{ u.m.a.} \quad \text{ } ^{13}_6 \text{C (1.11%)} M = 13.00335 \text{ u.m.a}$$

$$M_C = \frac{98.89 \times 12.0000 + 1.11 \times 13.00335}{100} = 12,01 \text{ u.m.a.}$$

Massa atomica relativa media...

La Tavola periodica

Nr. atomici Z e masse atomiche relative medie

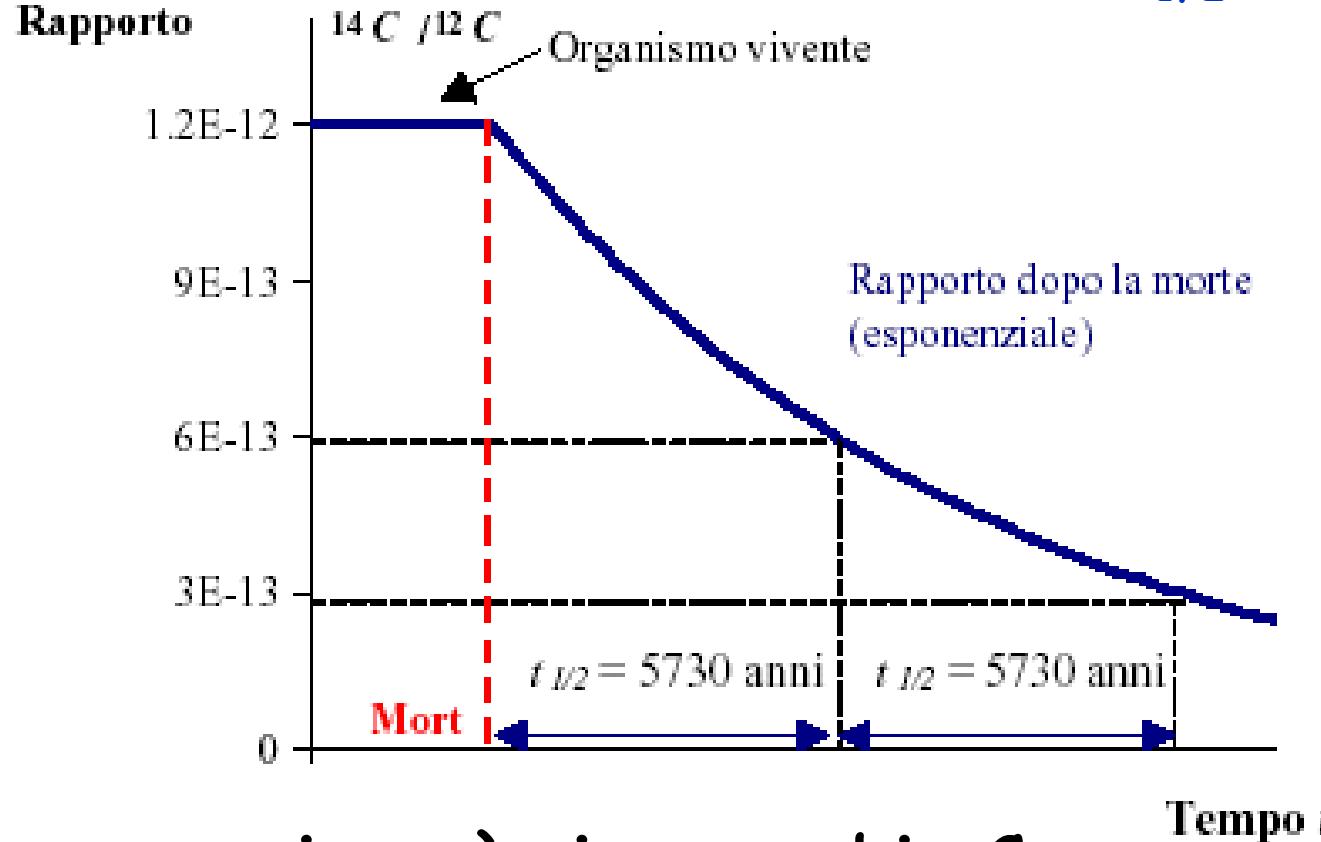
GRUPPO		PERIODO																		O
IA		PERIODO																		He 4.0026
PERIODO	IIA																			
1	H 1.0079	3 Li 6.941	4 Be 9.012	11 Na 22.99	12 Mg 24.30	26 Fe 55.85	Numero atomico	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.179	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.974	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948	
2							IIIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIA	VIIIA	IB	IIB					
3	K 39.10	Ca 40.08	Sc 44.96	Ti 47.90	V 50.94	Cr 52.00	Mn 54.938	Fe 55.85	Co 58.93	Ni 58.69	Cu 63.55	Zn 65.39	Ga 69.72	Ge 72.59	As 74.92	Se 78.96	Br 79.90	Kr 83.80		
4	Rb 85.47	Sr 87.62	Y 88.91	Zr 91.22	Nb 92.91	Mo 95.94	Tc (98)	Ru 101.1	Rh 102.91	Pd 106.42	Ag 107.87	Cd 112.41	In 114.82	Sn 118.71	Sb 121.75	Te 127.60	I 126.91	Xe 131.29		
5	Cs 132.91	Ba 137.33	*La 138.91	Hf 178.49	Ta 180.95	W 183.85	Re 186.21	Os 190.2	Ir 192.2	Pt 195.08	Au 196.97	Hg 200.59	Tl 204.38	Pb 207.2	Bi 208.98	Po (209)	At (210)	Rn (222)		
6	Fr (223)	Ra 226.02	†Ac 227.03	104 (261)	105 (262)	106 (263)	107 (265)	108 (266)	109 (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)								
7																				

*Lanthanide Series

58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

†Actinide Series

Datazione con ^{14}C (instabile con $t_{1/2} = 5730$ anni)



Finché un organismo è vivo scambia C

- nell'atmosfera $^{14}\text{C}/C_{\text{tot}} \approx \sim 1.2 \ 10^{-12}$ costante)

^{14}C rigenerato da interazione con raggi cosmici secondo reazioni come : $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + \text{H}$

- senza scambio la concentrazione di ^{14}C nei tessuti si riduce

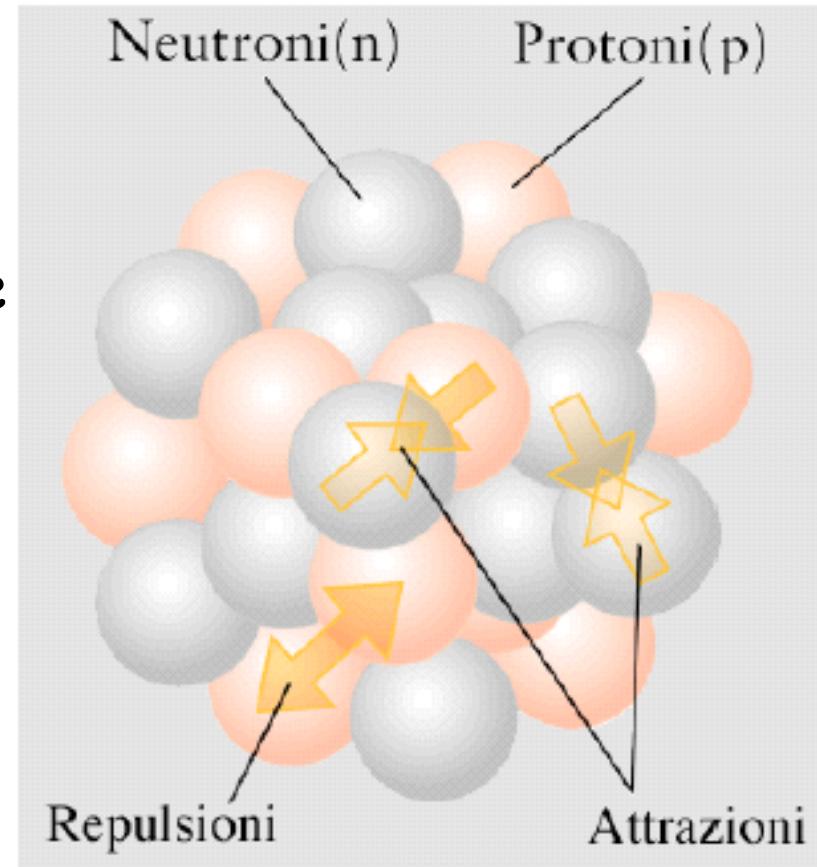
La struttura del nucleo atomico Nuclidi stabili e radionuclidi

Nuclidi noti > 1000

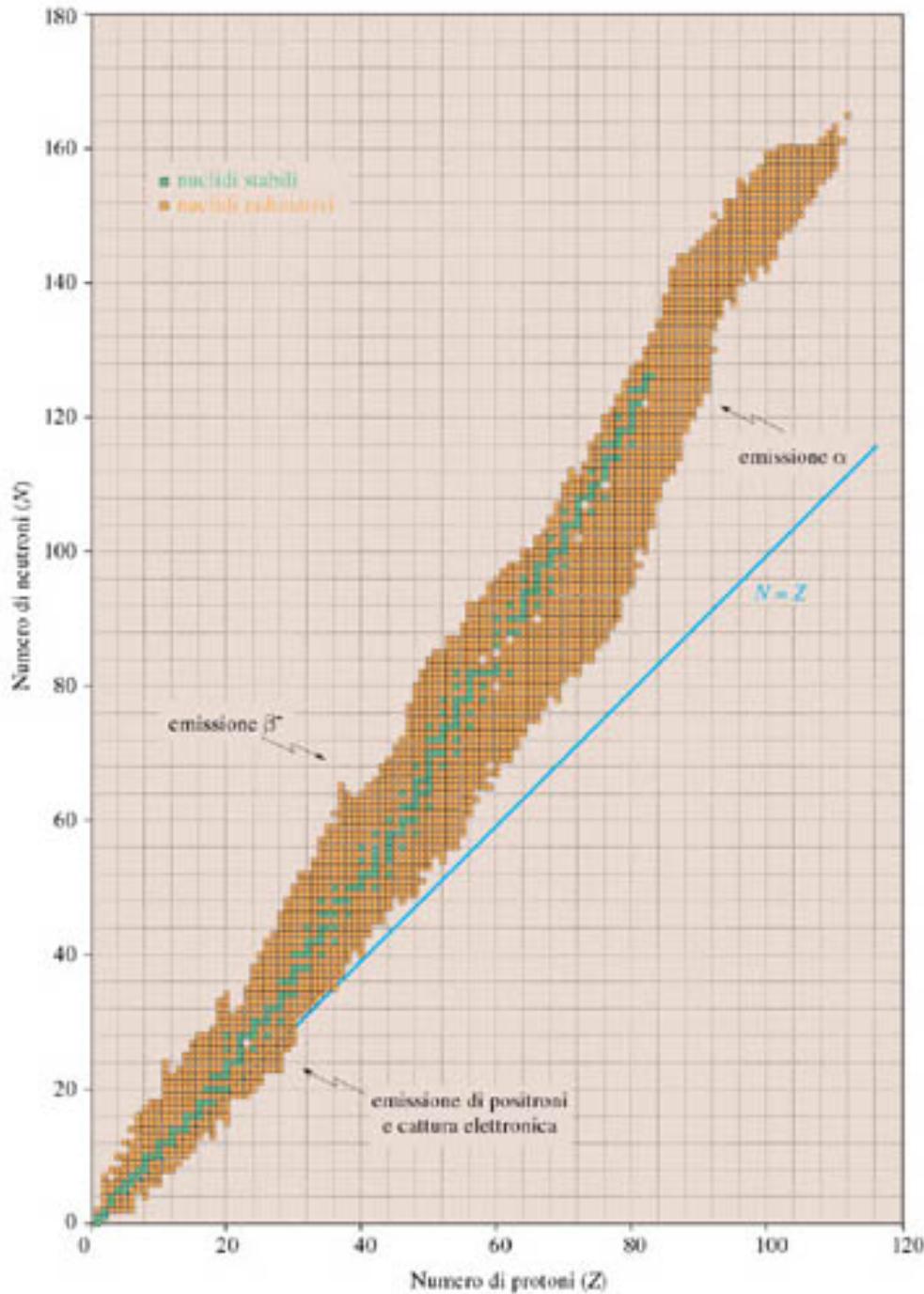
Nuclidi stabili (naturali) \approx 270

Nuclidi instabili naturali \approx 30

la stabilità dei nuclidi (a parte il caso ^1H), richiede un **rapporto neutroni/protoni ≥ 1** (ma non troppo!)



Nuclidi stabili (e non), in funzione di Z e del nr. di neutroni A-Z



La massa di un nuclide è sempre minore della somma delle masse dei protoni e dei neutroni costituenti:

Il difetto di massa

$${}^4_2\text{He} \ m = 4.00150 \ \text{uma}$$

$$2m_{p+} + 2m_n = 4.03190 \ \text{uma}$$

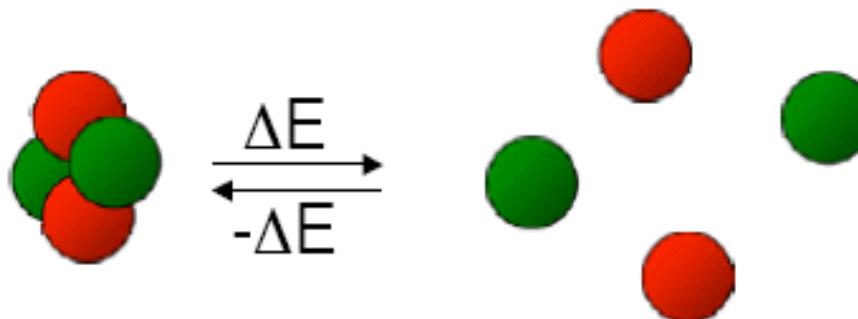
$$Z \cdot m_{\text{protoni}} + (A-Z) \cdot m_{\text{neutroni}} \neq m_{\text{nucleo}}$$

$$\Delta m = Z \cdot m_{\text{protoni}} + (A-Z) \cdot m_{\text{neutroni}} - m_{\text{nucleo}}$$

Δm difetto di massa

\Leftarrow

ΔE energia di legame tra i nucleoni



Energia "di legame" nucleo ^{37}Cl

da differenza di massa tra atomo e particelle componenti:

Protoni: $17 \times 1.00726 \text{ uma} = 17.1234 \text{ uma}$

Neutroni: $20 \times 1.00865 \text{ uma} = 20.173 \text{ uma}$

Elettroni: $17 \times 0.0005486 \text{ uma} = 0.0093 \text{ uma}$

Massa totale (somma componenti) = 37.3057 uma

Massa sperimentale atomo $^{37}\text{Cl} = 36.966 \text{ uma}$

Δm = difetto di massa = 0.340 uma

Energia "di legame" nucleo, calcolata come $\Delta E = \Delta m \times c^2 =$

$0.340 \text{ uma} \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ Kg uma}^{-1} \times (3.00 \times 10^8 \text{ m/s})^2 =$

= $5.08 \times 10^{-11} \text{ J} = 3.15 \times 10^8 \text{ eV}$ (1 eV = $1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$)

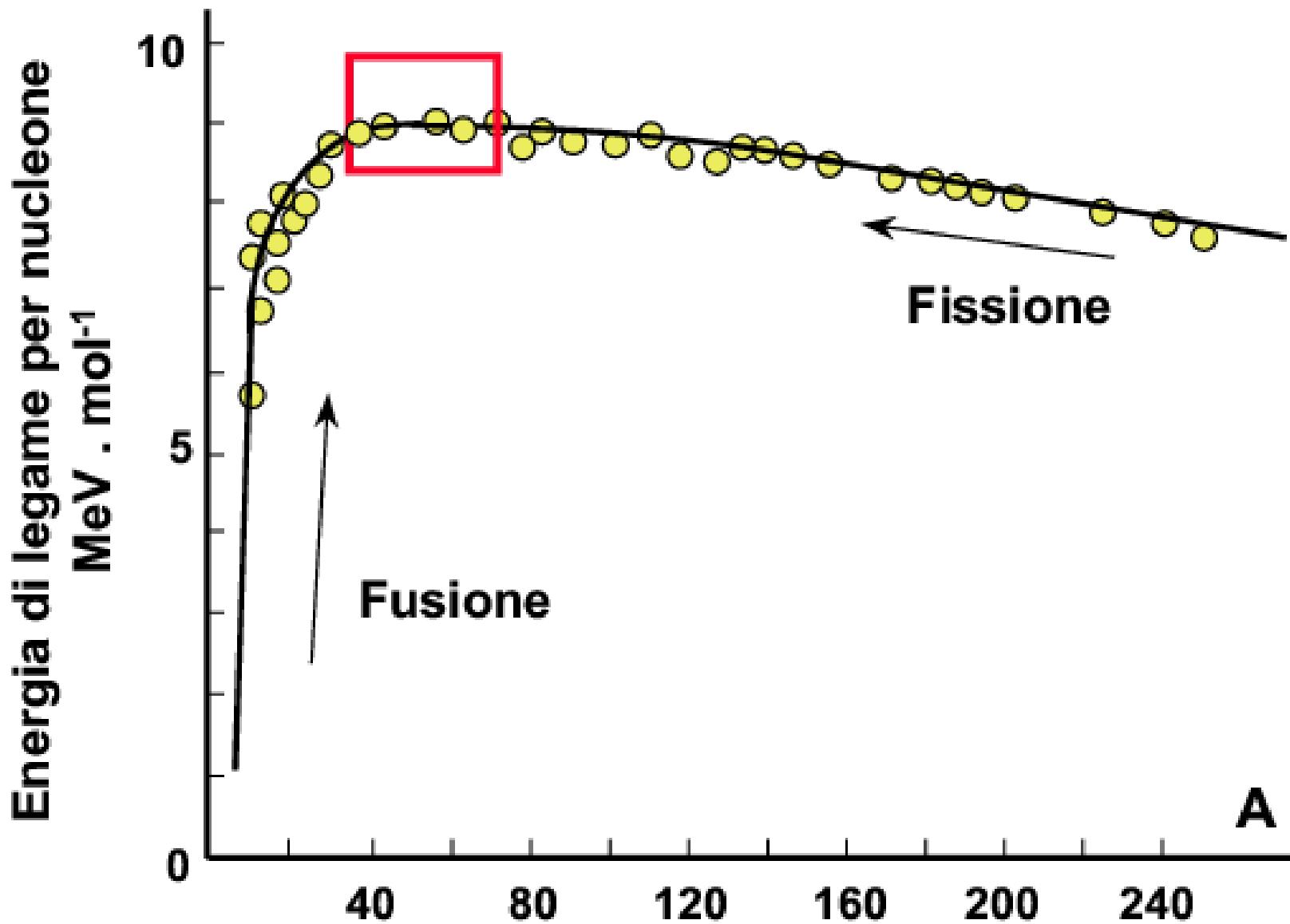
Energia nucleare "legame" di ^{37}Cl per nucleone =

$3.17 \times 10^8 / 37 \text{ eV} = 8.57 \times 10^6 \text{ eV} = 8.57 \text{ MeV}$

Energia legame chimico Cl-Cl in molecola di Cl_2 : 2.53 eV

E «legami» nucleari $\sim 10^6 - 10^7 \times$ E interazione tra atomi

Le reazioni nucleari non saranno discusse nel nostro Corso



La Tavola periodica

masse atomiche medie (u.m.a. o u): dipendano dal numero di massa, dal difetto di massa, dall'abbondanza isotopica.

1	IA
1	1,0079 -1 0,0000899 -259,2 -253
Idrogeno	
3	9,491 +1
4	9,0122 +2
2	IIA
2	Li
1	1,85 1262,2 2472
Litio	
11	22,9888 +1
12	24,305 +2
3	Na
1	1,74 650 883
Magnesio	
3	IIIIB
4	IVB
5	VB
6	VIB
7	VIIIB
8	VIIIB
9	VIIIB
10	VIIIB
11	IB
12	IIB
Periodo	
4	K
1	0,86 62,8 758
Calcio	
Scandio	Sc
1	3,02 1536,9 2831
Titano	
Vanadio	Ti
1	5,98 1900 3409
Cromo	Cr
2	50,9415 +5 5,4,3,2
Manganese	Mn
3	59,938 +7 7,8,4,3,2,1
Ferro	Fe
2	55,847 +3
Cobalto	Co
3	58,9332 +3
Nickel	Ni
4	58,7 3,2
Rame	Cu
5	63,546 2,1
Zinco	Zn
6	65,38 +2
Alluminio	Al
13	10,81 +3
Silicio	Si
14	12,011 3,1
Carbonio	C
15	14,0067 -3
Azoto	N
16	15,9994 -2
Ossigeno	O
17	18,9984 -1
Fluoro	F
18	20,179 0
Elio	
He	0 0,0001785 -272,1 -269
Neon	Ne

Metalli Alcalini

Elementi di Transizione

Metalloidi / Non Metalli

Lantanidi

Attinidi

Gas Nobili

Numero Atomico

Valenza

Densità (g/cm³)

Temp. Fusione (°C)

Temp. Ebollizione (°C)

Nome

Peso Atomico

Numeri di Ossidazione

Simbolo

Gruppo

Periodo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Potassio	Calcio	Scandio	Titano	Vanadio	Cromo	Manganese	Ferro	Cobalto	Nickel	Rame	Zinco	Alluminio	Silicio	Fosforo	Zolfo	Cloro	Argon
Rubidio	Stronzio	Ittrio	Zirconio	Niobio	Molibdeno	Tecnezio	Rutenio	Rodio	Palladio	Argento	Cadmio	Gallio	Germanio	Arsenico	Selenio	Bromo	Kripton
Cesio	Bario	Lantano	Afnio	Tantalo	Tungsteno	Renio	Osmio	Inridio	Platino	Oro	Mercurio	Indio	Stagno	Antimonia	Tellurio	Iodio	Xenon
Francio	Radio	Attinio	Rutherfordio	Dubnio	Seaborgio	Bohrio	Hassio	Meitnerio	Darmstadio	Roentgenio	Copernicio	Tallio	Piombo	Bismuto	Polonio	Astato	Radon

STATI DI AGGREGAZIONE A 20 °C

SOLIDI	LIQUIDI	GASSOSI	ARTIFICIALI
--------	---------	---------	-------------

Metalli Alcalini

Elementi di Transizione

Metalloidi / Non Metalli

Lantanidi

Attinidi

Gas Nobili

Periodo

6	Ce	Praseodimio	Neodimio	Promezio	Samario	Europio	Gadolionio	Terbio	Disprosio	Olmio	Erbio	Tulio	Iterbio	Lutezio
7	Th	Protoattinio	Uranio	Nettunio	Plutonio	Americio	Curio	Berchelio	Californio	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Laurenzio

Molecole e massa molecolare

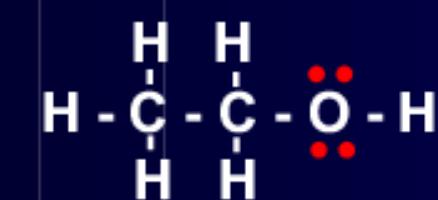
Molecola: aggregato ~ stabile
di un numero definito di atomi
(legati in modo covalente)



massa molecolare



somma delle masse atomiche degli atomi
presenti in una sua molecola

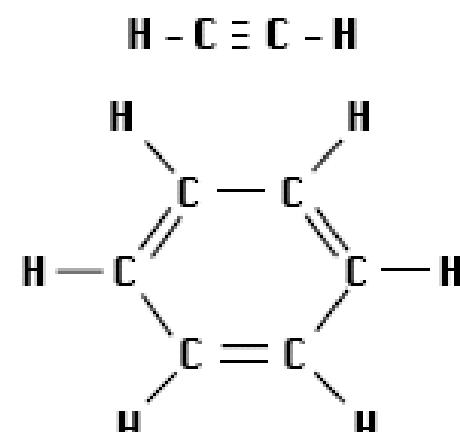
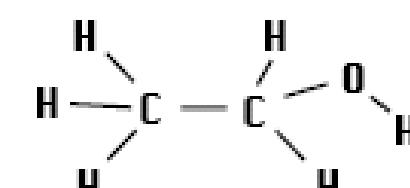
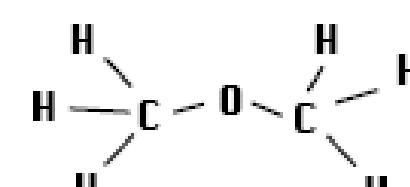


Alcool etilico (Etanolo)

(C_2H_6O)

Nella formula molecolare i pedici indicano il nr di atomi di ciascun tipo presenti nella molecola

$$M_{C_2H_6O} = 2 M_C + 6 M_H + M_O = 2 \times 12,011 + 6 \times 1,0079 + 15,999 = \\ = 46,068 \text{ u.m.a.}$$

<i>Composto</i>	<i>F. minima</i>	<i>F. molecolare</i>	<i>F. di struttura</i>
Acetilene	CH	C ₂ H ₂	$\text{H} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$
Benzene	CH	C ₆ H ₆	
Alcol etilico	C ₂ H ₆ O	C ₂ H ₆ O	
Etere dimetilico	C ₂ H ₆ O	C ₂ H ₆ O	

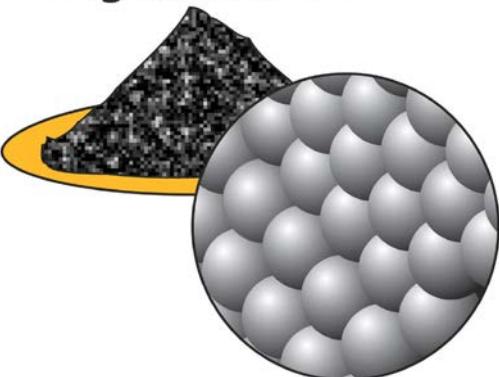
La formula molecolare può coincidere con la formula minima oppure può essere un suo multiplo intero. Composti diversi possono avere la stessa formula molecolare (**ISOMERI**).

Contare gli atomi...la MOLE



Amedeo Avogadro

12 g carbon-12



Reazioni chimiche realizzabili sperimentalmente coinvolgono un numero enorme ($\sim 10^{23}$) di atomi, molecole e/o ioni.

È conveniente definire una grandezza che consenta di **misurare semplicemente un numero grande e fisso** di entità, dell'ordine delle quantità usate in esperimenti e processi reali.

Questa grandezza è la **mole** (abbreviazione S.I. **mol**):

Mole: quantità di sostanza contenente un numero di entità elementari pari al numero di Avogadro.

Numero di Avogadro = $6.022\ 140\ 76 \cdot 10^{23}$ (esattamente)

(Revisione 2019 S.I., B.I.P.M.)

La mole, la costante, e il numero di Avogadro

$$N_A = \text{costante di Avogadro} = \text{(Revisione 2019 S.I., BIPM)}$$
$$= 6.022\ 140\ 76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ (esattamente)}$$

Numero di Avogadro =

valore numerico della costante di Avogadro = $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$

La cost. di Avogadro si chiama così perché il nr (di particelle) N in una certa quantità di sostanza è dato da:

N (adimensionale) = N_A (mol $^{-1}$) · n (mol) dove n = numero di moli

$N_A \approx N^\circ$ = nr di atomi di ^{12}C in 12.00 gr (esatti) di ^{12}C (atomi non legati e nello stato fondamentale). Questo numero dipende dalla precisione con si determina la massa di ^{12}C . Se assumiamo che $m(^{12}C) = 19.924685 \cdot 10^{-24}$ g,

$N^\circ = 12.00 \text{ g} / (19.924685 \times 10^{-24} \text{ g}) = 12.00 \text{ g} / (12.00 \text{ uma} \times 1.66053904 \times 10^{-24} \text{ g uma}^{-1}) = 1 \text{ mol}^{-1} / (1.66054 \times 10^{-24}) = 6.02214 \times 10^{23}$ che differisce comunque marginalmente da N_A . Praticamente $N_A \equiv N^\circ$.

12.00 gr \approx massa molare di ^{12}C = massa in gr pari a massa di un ^{12}C in uma
1 uma = 1 amu = 1 Da = 1u

Massa molare

massa di una mole di una generica sostanza =

= massa di N_A particelle della sostanza \approx

\approx massa in g, numericamente eguale, quindi \div , alla massa della singola "particella" della sostanza (molecola, atomo), in una:

MM (H_2O) ?

$$M(H_2O) = (16.00 \text{ uma} + 2 \times 1.01 \text{ uma}) = 18.02 \text{ uma}$$

$$MM(H_2O) = 18.02 \text{ g mol}^{-1}$$

Nr molecole H_2O in 18.02g ?

$$18.02 \text{ g} / (18.02 \text{ uma} \times 1.66054 \times 10^{-24} \text{ g/uma}) = 6.0221 \times 10^{23} \approx N_A$$

Il fattore di conversione uma \rightarrow g $\approx 1.66054 \times 10^{-24} \text{ g/uma} \approx 1/N_A$

$$1 \text{ uma} \approx 1.66054 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$1 \text{ g} \approx N_A \text{ uma}$$

Numero di moli di una sostanza = m (g)/MM(g mol⁻¹)

$$n(H_2O) \text{ in } 100 \text{ g} = 100 \text{ g} / 18.02 \text{ g mol}^{-1} = 5.55 \text{ mol}$$

La Tavola periodica

masse atomiche relative medie (u.m.a.) - masse molari (g)

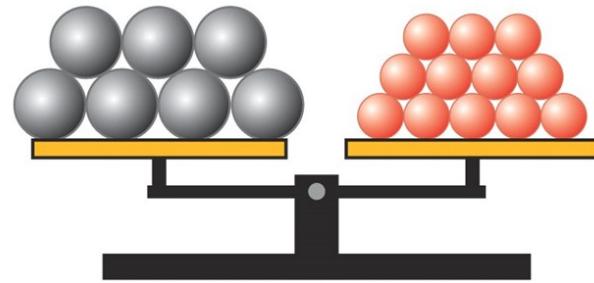
GRUPPO		PERIODO																		0					
IA		IIA		Periodic Table of Elements																		He			
PERIODO	1	H	1.0079	IIIB		IVB		VB		VIB		VIIB		VIII B		IB		IIB		5	6	7	8	9	10
	2	Li	6.941	Be	9.012	Na	Mg	22.99	24.30	Al	13	Si	14	P	15	S	16	Cl	17	Ar	4.0026				
3	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36							
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr							
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe							
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86							
7	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn							
	132.91	137.33	138.91	178.49	180.95	183.85	186.21	190.2	192.2	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	(209)	(210)	(222)							
	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112													
	(223)	226.02	227.03	(261)	(262)	(263)	(262)	(265)	(266)	(269)	(272)	(277)													

*Lanthanide Series

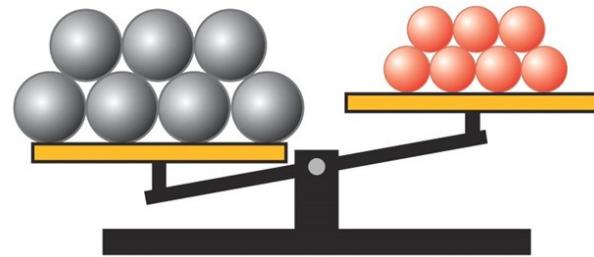
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
140.12	140.91	144.24	(145)	150.4	151.97	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04	174.97
90 Th	91 Pa	92 U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
232.04	231.04	238.03	237.05	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(260)

†Actinide Series

Masse molari



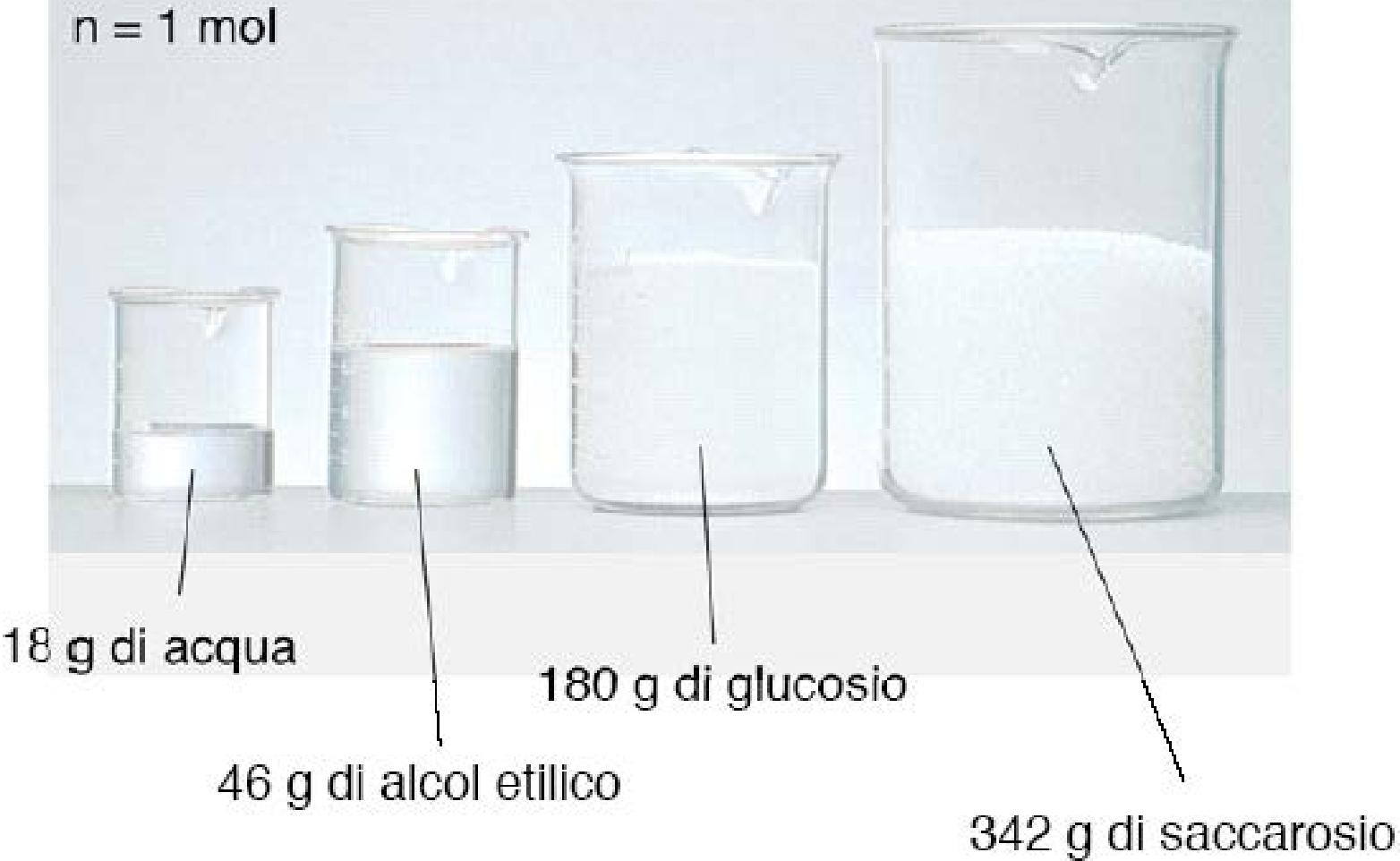
(a) masse eguali



(b) quantità eguali di particelle

Massa molare (di un elemento o di un composto)

$n = 1 \text{ mol}$



Struttura atomica - Le dimensioni degli atomi

Esempio: RAME (Cu)

Densità $\delta = 8.96 \text{ g/cm}^3$ (20°C)

Massa molare $M = 63.546 \text{ g/mol}$

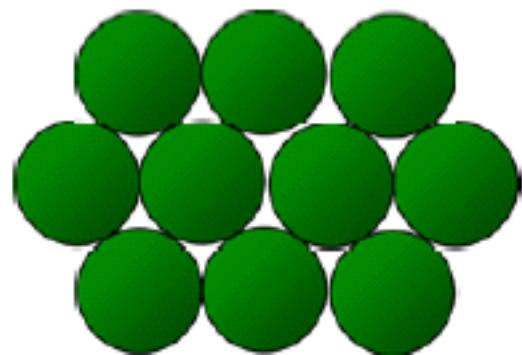
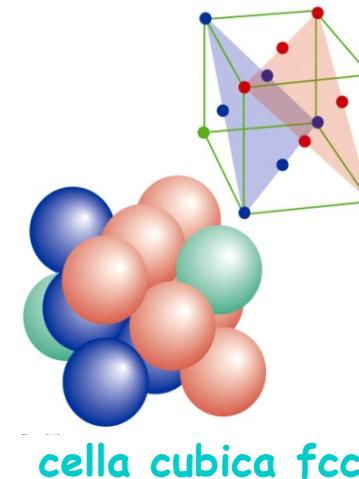
Volume molare $V_m = M/\delta =$

$$= 63.546 \text{ (g/mol)} / 8.96 \text{ (g/cm}^3) = 7.09 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

Volume atomico $V_{at} = V_m/N_A =$

$$= 7.09 \text{ (cm}^3/\text{mol}) / 6.022 \times 10^{23} \text{ (atomi/mol)} = 1.18 \times 10^{-23} \text{ (cm}^3/\text{atomo)}$$

$$\text{densità} = m/V$$



impaccamento esagonale compatto

Stima grezza: tutto V occupato da atomo sferico.

$$V_{at} = 4/3 \pi r^3 = 11.8 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$r = 1.41 \times 10^{-8} \text{ cm} = 1.41 \text{ \AA} \text{ (sovraprezzo r !)}$$

Atomo sferico inscritto in un cubo con $V = V_{at}$:

$$(2r)^3 = 11.8 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 \quad 2r = 2.28 \times 10^{-8} \text{ cm},$$

$$r = 1.14 \text{ \AA} \text{ (sottostimato un po' r !)}$$

Struttura cubica compatta (face centered cubic = fcc)

$$\text{at. in cella} = 8 \cdot 1/8 \text{ (vertici)} + 6 \cdot 1/2 \text{ (facce)} = 4$$

$$V = 4 \times 11.8 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 = 47.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$a = b = c = 3.61 \text{ \AA} \text{ (diagonale faccia} = 3.61 \text{ \AA} \cdot 2^{1/2} = 5.11 \text{ \AA}$$

$$r = (5.11/4) \text{ \AA} = 1.28 \text{ \AA}: \approx \text{esatto!}$$