

# Corso di Geochimica e Laboratorio per Scienze Geologiche

CFU: 9 (frontali) + 3 (laboratorio)

Orlando Vaselli: [orlando.vaselli@unifi.it](mailto:orlando.vaselli@unifi.it)

Franco Tassi: [franco.tassi@unifi.it](mailto:franco.tassi@unifi.it)



# Orario del Corso di Geochimica con Lab

- Lunedì, Aula 4 (Capponi): 10.30-13.30
- Martedì, Aula D (Pira): 11.30-13.30
- Giovedì, Aula 2 (Laura): 8.30-10.30 – Aula D (Pira): 14.30-17.30

Laboratorio?

Mercoledì mattina?

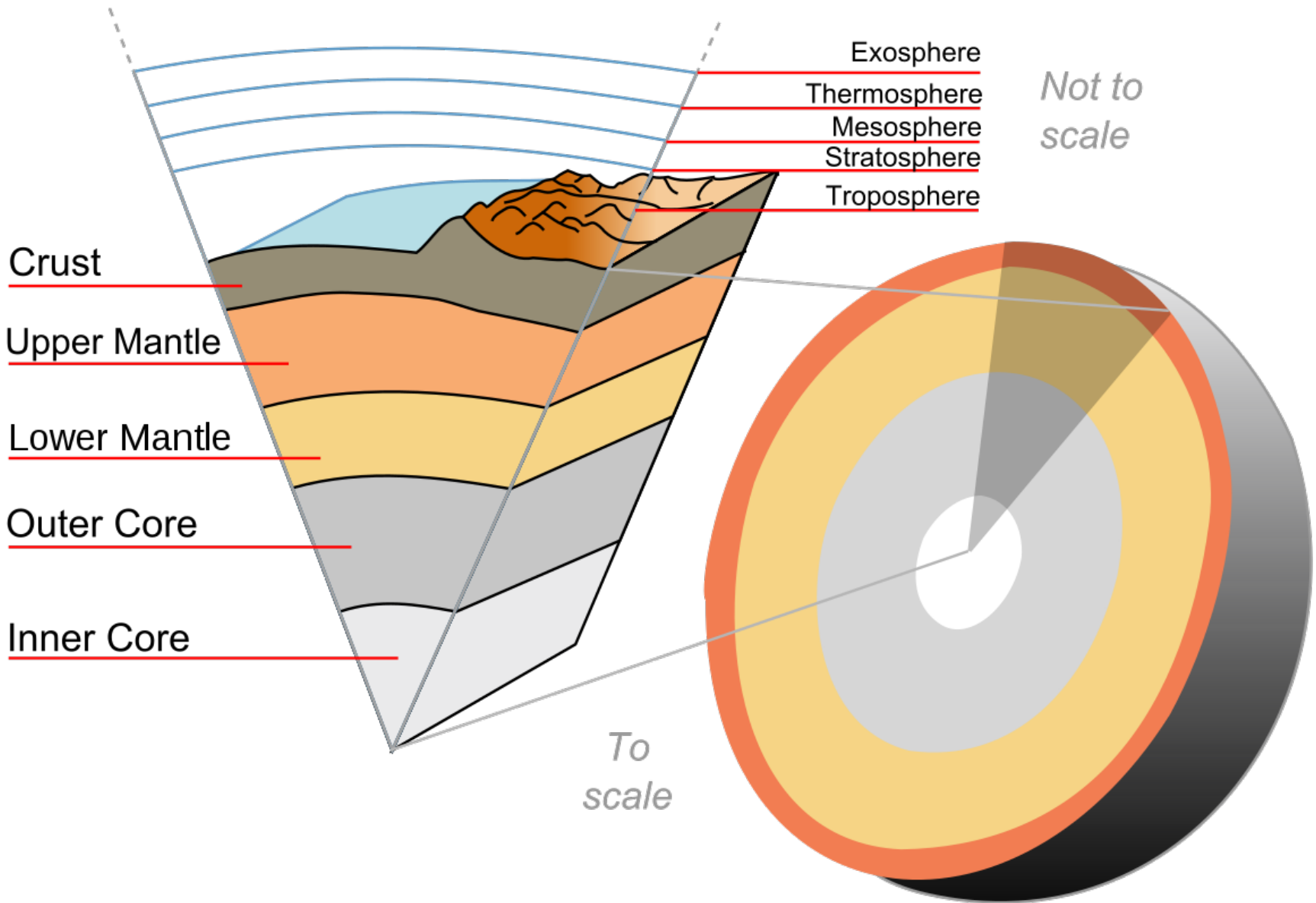


Perchè un geologo dovrebbe sapere  
di Geochimica?



## Perchè è importante la Geochimica





Victor Goldschmidt defined the study of geochemistry as: "the laws governing the distribution of the chemical elements and their isotopes throughout the earth"



Vernadski, Vladimir Ivanovich (1863-1945),  
scienziato sovietico e pioniere della  
geochimica e biogeochimica: "L'Uomo  
diventerà un fattore importante nella  
modifica dei sistemi geochimici in quanto  
ELEMENTO destabilizzante".

Si consumano prodotti di scarto che  
inquinano... bisogna ripulire (rimediare) ed  
evitare o minimizzare che elementi tossici  
vengano introdotti nel ciclo vitale



Viene in pratica ad introdursi il concetto di **ANTROPOSFERA**: la sfera umana, i.e. la parte del sistema naturale che è stata modificata dagli esseri umani.

L'influenza dell'uomo ha portato alla definizione di sfere ancora più specifiche come la **TECNOSFERA**.

L'**astisfera** comprende le parti della terra influenzate dai sistemi urbani. Questi sono in grado di agire come un network influenzandosi l'un con l'altro e capaci di alterare l'ambiente terrestre.

Urban Geochemistry





# Ciclo Geochimico

La sequenza di stadi (fasi) nella migrazione degli elementi durante cambiamenti di natura geologica. Rankama e Sahama distinguono un **CICLO MAGGIORE** o **ENDOGENO** (dal magma alle rocce ignee alle rocce sedimentarie, metamorfiche e migmatitiche fino a ritornare al magma) ed un **CICLO ESOGENO** (dai sedimenti al materiale di alterazione per ritornare ai sedimenti).

**Effetti dell'uomo (ANTROPOSFERA)**



Gli inquinanti/contaminanti sono derivanti da un'azione antropica. Essi non sono altro che il riarrangiamento forzato di atomi per la produzione, ad esempio, di molecole sintetiche. Inoltre, l'azione umana consente la distribuzione (arricchimento) di elementi/composti da un posto ad un altro.



- **Contaminante:** sostanza presente in un dato ambiente al di sopra della concentrazione normale attesa e non ha effetti negativi sull'ambiente e sulla salute dell'uomo.
- **Inquinante:** sostanza presente in quantità maggiore di quella attesa in natura a causa dell'attività umana e che ha un impatto negativo sull'ambiente e sulla salute dell'uomo.



# Geochimica versus Geologia?

- La geologia è la diretta osservazione ed interpretazione delle relazioni di terreno per la capire la storia e lo stato attuale (e.g. rischi e risorse) della Terra solida e delle sue regioni
- Include: geologia strutturale, geomorfologia, stratigrafia, paleontologia, petrologia, mineralogia, vulcanologia, etc.

- La **GEOCHIMICA** è l'applicazione dei principi della **CHIMICA** per capire la **TERRA** (solida, liquida e gassosa)
  - Principi fondamentali come il decadimento radioattivo, la conservazione della massa isotopica ed elementare, la termodinamica e la cinetica portano rigore e certezze all'interpretazione geologica

- Le altre scienze sono necessarie per limitare le speculazioni dei geologi nel campo della plausibilità. Tuttavia, la **GEOLOGIA** è il cardine centrale di tutte le Scienze della Terra: provvede ai problemi che devono essere risolti, alla struttura per correlare i vari problemi e al record degli eventi attuali.

## Mediante la Geochimica

- Si quantifica il tempo geologico;
- Si determinano le profondità e le temperature delle camere magmatiche;
- Si riconoscono i "plume" mantellici;
- Si comprendono i processi di subduzione ed il coinvolgimento dei sedimenti;
- Si calcolano le temperature di formazione delle rocce metamorfiche;
- Si stimano i tassi di risalita e di erosione delle catene montuose;
- Si studia come e quando la Terra si sia formata;
- Si ipotizza come sia formata e come sia evoluta l'atmosfera;
- Si investigano le età glaciali e le loro cause;
- Si teorizzano gli effetti dei gas serra;
- Si valutano gli inquinamenti delle falde, dei suoli e dell'aria;
- Si scoprono le risorse economiche quali petrolio, depositi minerali, ecc.



# La Geochimica è scritta nella TAVOLA PERIODICA

Periodo

1	1 0,00011 -253 1,00794 H Idrogeno	2 11,991035 -263 9,0122 He Elio											13 10,81 -3 2,83 2100 3802 B Boro	14 12,011 -4 2,25 3990 4827 C Carbonio	15 14,0067 -3 5,633,3 0,001201 -196 N Azoto	16 15,9994 -2 8,432 0,001429 -182 O Ossigeno	17 18,9984 -1 3,497 0,001189 -188 F Fluoro	18 20,179 0 2,016 0,000899 -253 Ne Neon	
2	3 6,941 +1 0,534 186,1 1324 Li Litio	4 9,0122 +2 1,88 126,2 2472 Be Berillio											13 26,9815 +3 2,7 980,2 2520 Al Alluminio	14 28,0855 +4 4,4 1420,4 3267 Si Silicio	15 30,9738 +3 5,3 1495,8 431 P Fosforo	16 32,06 -2 8,4,2,-2 1,92 119 445 S Zolfo	17 35,453 -1 7,5,3,1,-1 0,00322 -101,7 -34 Cl Cloro	18 39,948 0 3,84 0,001783 +186,4 -150 Ar Argon	
3	11 22,9898 +1 0,97 97,7 883 Na Sodio	12 24,305 +2 1,74 850 1080 Mg Magnesio	3 44,9559 +3 4,5 1520,9 3289 IIIB Scandio	4 47,9 +4 4,5 1900 3406 IVB Titanio	5 50,9415 +3 5,4,3,2 5,98 2415,6 3406 VB Vanadio	6 51,996 +4 6,3,2 7,41 2621,1 3406 VIB Cromo	7 54,938 +3 7,6,4,3,2,-1 7,41 2426,9 3862 VIIB Manganese	8 55,847 +3 8,3,2,-2 7,88 1538,9 2862 VIIIB Ferro	9 58,9332 +3 8,3,2,-1 8,71 1495 2914 VIIIB Cobalto	10 58,7 +3 8,3,2 8,88 1455 2914 VIIIB Nichel	11 63,546 +2 6,3,2 8,96 1080 891 IB Rame	12 65,38 +2 6,3,2 1,1 419,4 891 IIB Zinco	13 69,72 +3 3,2 5,5,9 29,7 2347 IIIB Gallio	14 72,59 +4 4,3 5,46 957,8 2834 IIIB Germanio	15 74,9216 +3 5,3,-3 5,73 812 813,9 As Arsenico	16 78,96 -2 6,4,-2 4,82 220 679 Se Selenio	17 79,904 -1 7,5,3,1,-1 0,001139 -72 98 Br Bromo	18 83,8 2 8,4,2 0,00368 +186,5 -150 Kr Krypton	
4	19 39,0983 +1 0,86 87,8 756 K Potassio	20 40,08 +2 1,55 848,9 1484 Ca Calcio	21 44,9559 +3 3,82 1538,9 3811 Sc Scandio	22 47,9 +4 4,5 1900 3406 Ti Titanio	23 50,9415 +3 5,4,3,2 5,98 2415,6 3406 V Vanadio	24 51,996 +4 6,3,2 7,41 2621,1 3406 Cr Cromo	25 54,938 +3 7,6,4,3,2,-1 7,41 2426,9 3862 Mn Manganese	26 55,847 +3 8,3,2,-2 7,88 1538,9 2862 Fe Ferro	27 58,9332 +3 8,3,2,-1 8,71 1495 2914 Co Cobalto	28 58,7 +3 8,3,2 8,88 1455 2914 Ni Nichel	29 63,546 +2 6,3,2 8,96 1080 891 Cu Rame	30 65,38 +2 6,3,2 1,1 419,4 891 Zn Zinco	31 69,72 +3 3,2 5,5,9 29,7 2347 Ga Gallio	32 72,59 +4 4,3 5,46 957,8 2834 Ge Germanio	33 74,9216 +3 5,3,-3 5,73 812 813,9 As Arsenico	34 78,96 -2 6,4,-2 4,82 220 679 Se Selenio	35 79,904 -1 7,5,3,1,-1 0,001139 -72 98 Br Bromo	36 83,8 2 8,4,2 0,00368 +186,5 -150 Kr Krypton	
5	37 85,4678 +1 1,53 38,9 934 Rb Rubidio	38 87,62 +2 2,56 389,9 1375 Sr Stronzio	39 88,9059 +3 3,8 1520,9 3289 Y Ittrio	40 91,22 +4 4,5 1900 3406 Zr Zirconio	41 92,9064 +3 5,4,3,2 5,98 2415,6 3406 Nb Niobio	42 95,94 +4 6,5,4,3,2 7,41 2621,1 3406 Mo Molibdeno	43 101,07 +7 7,8,4,3,2,-2 7,41 2426,9 3862 Tc Tecnecio	44 101,07 +3 8,6,4,3,2,-2 7,88 1538,9 2862 Ru Rutenio	45 102,9055 +3 8,6,4,3,2,-2 8,71 1495 2914 Rh Rodio	46 106,4 +4 4,2 12,44 1966,1 3727 Pd Palladio	47 107,868 +2 6,3,2 12,44 1966,1 3727 Ag Argento	48 112,41 +2 6,3,2 8,65 320,9 767 Cd Cadmio	49 114,82 +3 3,2 7,28 196,4 2070 In Indio	50 118,69 +4 4,2 7,3 231,9 2623 Sn Stagno	51 121,75 -3 5,3,-3 6,62 238,9 1587 Sb Antimonio	52 127,6 -2 6,4,-2 6,25 448,9 586 Te Tellurio	53 126,9045 -1 7,5,3,1,-1 4,94 113,3 183 I Iodio	54 131,3 2 8,4,2 0,00551 -112 -111 Xe Xenon	
6	55 132,9054 +1 1,87 282 Cs Cesio	56 137,33 +2 3,5 784,4 2125 Ba Bario	57 138,9055 +3 6,15 835 3457 La Lantanio	58 140,12 +4 4,3 6,9 780,3 3426 Ce Cerio	59 140,9077 +3 4,3 6,48 939,9 3512 Pr Praseodimio	60 144,24 +3 4,3 6,95 1015,9 3069 Nd Neodimio	61 145 +3 5,2 7,22 1071,9 1791 Pm Promezio	62 150,4 +3 3,2 7,75 1071,9 1791 Sm Samario	63 151,96 +3 3,2 5,24 826 1597 Eu Europio	64 157,25 +3 3,2 7,9 1311,9 3286 Gd Gadolinio	65 158,9254 +3 4,3 8,23 1396,9 3223 Tb Terbio	66 162,5 +3 4,3 8,55 1407 2562 Dy Disprosio	67 164,9304 +3 3,2 8,7 1489,9 2695 Ho Olmio	68 167,26 +3 3,2 8,97 1497 2863 Er Erbio	69 168,9342 +3 3,2 9,32 1544,9 1947 Tm Tulio	70 173,04 +3 3,2 8,97 873,9 1194 Yb Itterbio	71 174,967 +3 3,2 9,84 1662,9 3395 Lu Lutezio	Serie dei Lantanidi	
7	87 223 +1 27 874 Fr Francio	88 226,025 +2 1,5 784,4 1327 Ra Radio	89 227,028 +3 18,67 1063,9 3209 Ac Attinio	104 (261) Rf Rutherfordio	105 (262) Db Dubnio	106 (266) Sg Seaborgio	107 (264) Bh Bohrio	108 (277) Hs Hassio	109 (268) Mt Meitnerio	110 (271) Ds Darmstadtio	111 (272) Rg Roentgenio	112 (285) Cn Copernicio	Serie degli Attinidi						
													STATI di AGGREGAZIONE a 20 °C						
													<span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:black;"></span> SOLIDI <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:blue;"></span> LIQUIDI <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:red;"></span> GASSOSI <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; border:1px solid black;"></span> ARTIFICIALI						

- Metalli Alcalini
- Metalli Alcalino-Terrosi
- Lantanidi
- Attinidi
- Elementi di Transizione
- Metalloidi / Non Metalli
- Alogeni
- Gas Nobili

Numero Atomico: 1

Peso Atomico: 1,0079

Valenza: -1

Densità (g/cm<sup>3</sup>): 0,0000899

Temp. Fusione (°C): -253

Temp. Ebollizione (°C): -253

Numero di Ossidazione: +1

Simbolo: H

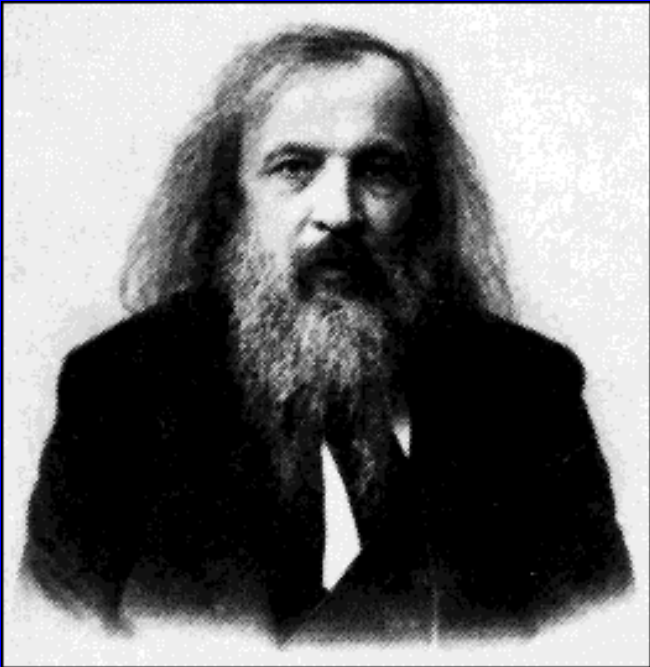
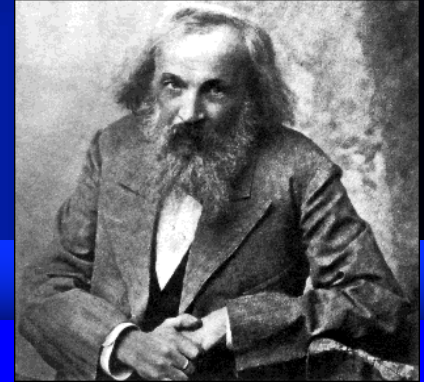
Nome: Idrogeno

Quello che ci resta da capire è il loro comportamento!



# *Dmitri Mendeleev*

*Nel 1869 pubblicò la tavola degli elementi, organizzati in funzione dell'aumento della massa atomica.*



*1834 - 1907*



*Geografia della Tavola  
Periodica*



# La Geochimica è scritta nella TAVOLA PERIODICA

Periodo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
5	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

- Metalli Alcalini
- Metalli Alcalino-Terrosi
- Lantanidi
- Attinidi

- Elementi di Transizione
- Metalloidi / Non Metalli
- Alogeni
- Gas Nobili

Numero Atomico: 1  
 Peso Atomico: 1,0079  
 Valenza: -1  
 Densità (g/cm<sup>3</sup>): 0,00008989  
 Temp. Fusione (°C): -253  
 Temp. Ebollizione (°C): -253  
 Numero di Ossidazione: +1  
 Simbolo: H  
 Nome: Idrogeno

5	6	7	8	9	10
Boro	Carbonio	Azoto	Ossigeno	Fluoro	Neon
13	14	15	16	17	18
Alluminio	Silicio	Fosforo	Zolfo	Cloro	Argon
31	32	33	34	35	36
Gallio	Germanio	Arsenico	Selenio	Bromo	Kripton
49	50	51	52	53	54
Indio	Stagno	Antimonio	Tellurio	Iodio	Xenon
81	82	83	84	85	86
Tallio	Piombo	Bismuto	Polonio	Astato	Radon

STATI di AGGREGAZIONE a 20 °C

- SOLIDI
- LIQUIDI
- GASSOSI
- ARTIFICIALI

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Cerio	Praseodimio	Neodimio	Promezio	Samario	Europio	Gadolinio	Terbio	Disprosio	Olmio	Erbio	Tulio	Itterbio	Lutezio
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Torio	Protattinio	Uranio	Neptunio	Plutonio	Americio	Curcio	Berkelio	Californio	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Lorentzio

Serie dei Lantanidi

Serie degli Attinidi

Le righe orizzontali si chiamano **PERIODI**.  
 Le colonne verticali della tavola periodica sono chiamate **GRUPPI o FAMIGLIE**

# Halogens

# Alkaline Earth

# Alkali metals

# Transition Metals

# Noble gases

# Lantanides\*

# Actinides\*\*

1 H Hydrogen Nonmetal																	2 He Helium Noble Gas																														
3 Li Lithium Alkali Metal	4 Be Beryllium Alkaline Earth Metal																	9 F Fluorine Halogen	10 Ne Neon Noble Gas																												
11 Na Sodium Alkali Metal	12 Mg Magnesium Alkaline Earth Metal																	17 Cl Chlorine Halogen	18 Ar Argon Noble Gas																												
19 K Potassium Alkali Metal	20 Ca Calcium Alkaline Earth Metal	21 Sc Scandium Transition Metal	22 Ti Titanium Transition Metal	23 V Vanadium Transition Metal	24 Cr Chromium Transition Metal	25 Mn Manganese Transition Metal	26 Fe Iron Transition Metal	27 Co Cobalt Transition Metal	28 Ni Nickel Transition Metal	29 Cu Copper Transition Metal	30 Zn Zinc Transition Metal	35 Br Bromine Halogen	36 Kr Krypton Noble Gas																																		
37 Rb Rubidium Alkali Metal	38 Sr Strontium Alkaline Earth Metal	39 Y Yttrium Transition Metal	40 Zr Zirconium Transition Metal	41 Nb Niobium Transition Metal	42 Mo Molybdenum Transition Metal	43 Tc Technetium Transition Metal	44 Ru Ruthenium Transition Metal	45 Rh Rhodium Transition Metal	46 Pd Palladium Transition Metal	47 Ag Silver Transition Metal	48 Cd Cadmium Transition Metal	53 I Iodine Halogen	54 Xe Xenon Noble Gas																																		
55 Cs Cesium Alkali Metal	56 Ba Barium Alkaline Earth Metal	*	72 Hf Hafnium Transition Metal	73 Ta Tantalum Transition Metal	74 W Tungsten Transition Metal	75 Re Rhenium Transition Metal	76 Os Osmium Transition Metal	77 Ir Iridium Transition Metal	78 Pt Platinum Transition Metal	79 Au Gold Transition Metal	80 Hg Mercury Transition Metal	85 At Astatine Halogen	86 Rn Radon Noble Gas																																		
87 Fr Francium Alkali Metal	88 Ra Radium Alkaline Earth Metal	**	104 Rf Rutherfordium Transition Metal	105 Db Dubnium Transition Metal	106 Sg Seaborgium Transition Metal	107 Bh Bohrium Transition Metal	108 Hs Hassium Transition Metal	109 Mt Meitnerium Transition Metal	110 Ds Darmstadtium Transition Metal	111 Rg Roentgenium Transition Metal	112 Cn Copernicium Transition Metal	117 Ts Tennessine Halogen	118 Og Oganesson Noble Gas																																		
		<table border="1"> <tr> <td>57 La Lanthanum Lanthanide</td> <td>58 Ce Cerium Lanthanide</td> <td>59 Pr Praseodymium Lanthanide</td> <td>60 Nd Neodymium Lanthanide</td> <td>61 Pm Promethium Lanthanide</td> <td>62 Sm Samarium Lanthanide</td> <td>63 Eu Europium Lanthanide</td> <td>64 Gd Gadolinium Lanthanide</td> <td>65 Tb Terbium Lanthanide</td> <td>66 Dy Dysprosium Lanthanide</td> <td>67 Ho Holmium Lanthanide</td> <td>68 Er Erbium Lanthanide</td> <td>69 Tm Thulium Lanthanide</td> <td>70 Yb Ytterbium Lanthanide</td> <td>71 Lu Lutetium Lanthanide</td> </tr> <tr> <td>89 Ac Actinium Actinide</td> <td>90 Th Thorium Actinide</td> <td>91 Pa Protactinium Actinide</td> <td>92 U Uranium Actinide</td> <td>93 Np Neptunium Actinide</td> <td>94 Pu Plutonium Actinide</td> <td>95 Am Americium Actinide</td> <td>96 Cm Curium Actinide</td> <td>97 Bk Berkelium Actinide</td> <td>98 Cf Californium Actinide</td> <td>99 Es Einsteinium Actinide</td> <td>100 Fm Fermium Actinide</td> <td>101 Md Mendelevium Actinide</td> <td>102 No Nobelium Actinide</td> <td>103 Lr Lawrencium Actinide</td> </tr> </table>																57 La Lanthanum Lanthanide	58 Ce Cerium Lanthanide	59 Pr Praseodymium Lanthanide	60 Nd Neodymium Lanthanide	61 Pm Promethium Lanthanide	62 Sm Samarium Lanthanide	63 Eu Europium Lanthanide	64 Gd Gadolinium Lanthanide	65 Tb Terbium Lanthanide	66 Dy Dysprosium Lanthanide	67 Ho Holmium Lanthanide	68 Er Erbium Lanthanide	69 Tm Thulium Lanthanide	70 Yb Ytterbium Lanthanide	71 Lu Lutetium Lanthanide	89 Ac Actinium Actinide	90 Th Thorium Actinide	91 Pa Protactinium Actinide	92 U Uranium Actinide	93 Np Neptunium Actinide	94 Pu Plutonium Actinide	95 Am Americium Actinide	96 Cm Curium Actinide	97 Bk Berkelium Actinide	98 Cf Californium Actinide	99 Es Einsteinium Actinide	100 Fm Fermium Actinide	101 Md Mendelevium Actinide	102 No Nobelium Actinide	103 Lr Lawrencium Actinide
57 La Lanthanum Lanthanide	58 Ce Cerium Lanthanide	59 Pr Praseodymium Lanthanide	60 Nd Neodymium Lanthanide	61 Pm Promethium Lanthanide	62 Sm Samarium Lanthanide	63 Eu Europium Lanthanide	64 Gd Gadolinium Lanthanide	65 Tb Terbium Lanthanide	66 Dy Dysprosium Lanthanide	67 Ho Holmium Lanthanide	68 Er Erbium Lanthanide	69 Tm Thulium Lanthanide	70 Yb Ytterbium Lanthanide	71 Lu Lutetium Lanthanide																																	
89 Ac Actinium Actinide	90 Th Thorium Actinide	91 Pa Protactinium Actinide	92 U Uranium Actinide	93 Np Neptunium Actinide	94 Pu Plutonium Actinide	95 Am Americium Actinide	96 Cm Curium Actinide	97 Bk Berkelium Actinide	98 Cf Californium Actinide	99 Es Einsteinium Actinide	100 Fm Fermium Actinide	101 Md Mendelevium Actinide	102 No Nobelium Actinide	103 Lr Lawrencium Actinide																																	

1	Atomic Number
H	Symbol
Hydrogen	Name
Nonmetal	Chemical Group Block

Boron Family	Carbon Family	Nitrogen Family	Oxygen Family
--------------	---------------	-----------------	---------------

# Metalloids or semi-metals

The periodic table below highlights metalloids in green. A red line is drawn around the elements Boron (B), Silicon (Si), and Germanium (Ge), which are also highlighted in green. The table includes element symbols, names, and atomic numbers.

1A 1																	2 18
1 <b>H</b> Hydrogen 1.00794	2A 2											3A 13	4A 14	5A 15	6A 16	7A 17	2 <b>He</b> Helium 4.00260
2 <b>Li</b> Lithium 6.941	<b>Be</b> Beryllium 9.01218											<b>B</b> Boron 10.811	<b>C</b> Carbon 12.01	<b>N</b> Nitrogen 14.0067	<b>O</b> Oxygen 15.9994	<b>F</b> Fluorine 18.998403	<b>Ne</b> Neon 20.1797
3 <b>Na</b> Sodium 22.98977	<b>Mg</b> Magnesium 24.305	3B 3	4B 4	5B 5	6B 6	7B 7	8B 8 9 10			1B 11	2B 12	<b>Al</b> Aluminum 26.98154	<b>Si</b> Silicon 28.0855	<b>P</b> Phosphorus 30.97376	<b>S</b> Sulfur 32.066	<b>Cl</b> Chlorine 35.4527	<b>Ar</b> Argon 39.948
4 <b>K</b> Potassium 39.0983	<b>Ca</b> Calcium 40.078	<b>Sc</b> Scandium 44.9559	<b>Ti</b> Titanium 47.88	<b>V</b> Vanadium 50.9415	<b>Cr</b> Chromium 51.9961	<b>Mn</b> Manganese 54.9380	<b>Fe</b> Iron 55.847	<b>Co</b> Cobalt 58.9332	<b>Ni</b> Nickel 58.6934	<b>Cu</b> Copper 63.546	<b>Zn</b> Zinc 65.39	<b>Ga</b> Gallium 69.72	<b>Ge</b> Germanium 72.61	<b>As</b> Arsenic 74.9216	<b>Se</b> Selenium 78.96	<b>Br</b> Bromine 79.904	<b>Kr</b> Krypton 83.80
5 <b>Rb</b> Rubidium 85.4678	<b>Sr</b> Strontium 87.62	<b>Y</b> Yttrium 88.9059	<b>Zr</b> Zirconium 91.224	<b>Nb</b> Niobium 92.9064	<b>Mo</b> Molybdenum 95.94	<b>Tc</b> Technetium (98)	<b>Ru</b> Ruthenium 101.07	<b>Rh</b> Rhodium 100.9055	<b>Pd</b> Palladium 106.42	<b>Ag</b> Silver 107.8682	<b>Cd</b> Cadmium 112.411	<b>In</b> Indium 114.82	<b>Sn</b> Tin 118.710	<b>Sb</b> Antimony 121.757	<b>Te</b> Tellurium 127.60	<b>I</b> Iodine 126.904	<b>Xe</b> Xenon 131.29
6 <b>Cs</b> Cesium 132.9054	<b>Ba</b> Barium 137.327	<b>La</b> Lanthanum 138.9055	<b>Hf</b> Hafnium 178.49	<b>Ta</b> Tantalum 180.9479	<b>W</b> Tungsten 183.85	<b>Re</b> Rhenium 186.207	<b>Os</b> Osmium 190.2	<b>Ir</b> Iridium 192.22	<b>Pt</b> Platinum 195.08	<b>Au</b> Gold 196.9665	<b>Hg</b> Mercury 200.59	<b>Tl</b> Thallium 204.3833	<b>Pb</b> Lead 207.2	<b>Bi</b> Bismuth 208.98	<b>Po</b> Polonium (209)	<b>At</b> Astatine (210)	<b>Rn</b> Radon (222)
7 <b>Fr</b> Francium (223)	<b>Ra</b> Radium 226.0254	<b>Ac</b> Actinium 227.0278	<b>Rf</b> Rutherfordium (261)	<b>Db</b> Dubnium (262)	<b>Sg</b> Seaborgium (263)	<b>Bh</b> Bohrium (264)	<b>Hs</b> Hassium (265)	<b>Mt</b> Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)						
Lanthanide Series			<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Pm</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>	

# La tavola periodica

## ✦ Proprietà chimiche dei gruppi

- Gruppo 1A → *metalli alcalini* (elettropositivi)
  - ◆ Valenza +1
- Gruppo 2A → *metalli alcalino-terrosi* (elettropositivo)
  - ◆ Valenza +2
- Gruppi 1B-7B e 8 → *metalli di transizione*;
  - ◆ Proprietà chimiche più complesse (riempimento degli orbitali più interni)
  - ◆ Valenze differenti, i.e.  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}$
- Gruppo 3A → *metalloidi* (elettropositivi)
  - ◆ Valenza +3
- Gruppo 4A → *gruppo del silicio-carbonio* (composti minerali e organici importanti; elettropositivi)
  - ◆ Valenza +4



# La tavola periodica

- ✦ Proprietà chimiche dei gruppi (cont)
  - Gruppo 5A → *gruppo dell'azoto-fosforo* (elettropositivi)
    - ◆ Valenza +5
  - Gruppo 6A → *gruppo dell'ossigeno* (non-metalli, elettronegativi)
    - ◆ Valenza -2
  - Gruppo 7A → *gruppo degli alogeni* (non-metalli, elettronegativi)
    - ◆ Valenza -1
  - Gruppo 8A → Gas nobili (inerti, non-reattivi)



# Cosa studia la **GEOCHIMICA**?



La distribuzione degli elementi chimici nella Terra e nel Sistema Solare



Le cause che chimicamente diversificano i materiali terrestri ed extra-terrestri



Le reazioni chimiche nel sistema solare e sulla superficie terrestre e nel suo interno



Assemblare queste informazioni per capire come i processi geochimici abbiano operato nel passato e come opereranno nel futuro



Investigare i cicli geochimici degli elementi e le modifiche avvenute nel passato e (presente e futuro) capire gli effetti antropici



# Materiali Geologici:



Soil Horizons

A layer of soil, approximately parallel to the surface, having distinct characteristics produced by processes forming horizons.

Used to classify the soil and make interpretations.

A Soil Profile

Horizon O  
A  
B  
C

Materiali Antropici



# Metodi analitici

Code No.	KT-16	KT-17	KT-18	KT-19	KT-20	KT-21	KT-22	KT-23
Sample No.	U-1	U-2	(46/181)	(46/710)	P-1	Pe	(48/409)	(46/53)
SiO <sub>2</sub>	42.51	47.453	41.24	43.20	39.32	46.25	40.43	43.46
TiO <sub>2</sub>	1.07	0.854	3.36	1.33	<0.01	0.01	<0.01	0.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.29	16.233	13.22	16.51	0.03	0.33	0.63	15.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3(T)</sub>	12.28	10.357	11.24	11.19	8.67	7.44	7.29	8.66
MnO	0.18	0.295	0.22	0.30	0.11	0.11	0.24	0.32
MgO	10.23	9.330	2.52	11.05	48.49	42.88	48.46	10.18
CaO	12.73	14.718	16.60	12.79	0.000	0.13	0.11	12.60
Na <sub>2</sub> O	2.03	ND	6.21	1.90	<0.03	<0.03	0.54	1.82
K <sub>2</sub> O	0.51	0.556	1.42	0.64	<0.01	0.000	0.22	2.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	ND	0.93	0.20	<0.01	0.000	0.01	0.74
Loss inc. S-	0.87	-	-	-	2.96	2.58	-	-
S	0.21	-	ND	0.06	0.03	<0.01	0.01	1.42
Total	99.89	89.796	100.13	99.63	99.58	99.73	99.83	100.21

Determinazioni qualitative e quantitative di composti ed elementi in materiali geologici

Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>

Ce<sup>3+</sup> e Ce<sup>4+</sup>

Cr<sup>3+</sup> e Cr<sup>6+</sup>

N<sup>3-</sup>, N<sup>4+</sup>, N<sup>5+</sup>

Rocce

Acque

Isotopi stabili e radioattivi

C<sup>4-</sup>, C<sup>2+</sup>, C<sup>4+</sup>

S<sup>2-</sup>, S<sup>0</sup>, S<sup>4+</sup>

Gas

Element	Rio Loa	River water (Lit)	Seawater <sup>d</sup>
Ca (µg/ml)	112 - 430 <sup>c</sup>	4 - 30 <sup>a</sup>	412
Mg (µg/ml)	63 - 230 <sup>c</sup>	1.5 - 5.6 <sup>a</sup>	1290
Na (µg/ml)	240 - 1770 <sup>c</sup>	2.9 - 11 <sup>a</sup>	10 770
Cl (µg/ml)	650 - 4120 <sup>c</sup>	4.9 - 12.1 <sup>a</sup>	19 354
K (µg/ml)	17 - 115 <sup>c</sup>	1.4 - 2.3 <sup>a</sup>	399
Li (µg/ml)	1.35 - 13.3 <sup>c</sup>	0.0 - 0.037 <sup>a</sup>	-
Rb (µg/ml)	0.07 - 0.60 <sup>c</sup>	0.0 - 0.008 <sup>a</sup>	-
Sr (µg/ml)	0.79 - 5.60 <sup>c</sup>	0.006 - 0.802 <sup>a</sup>	-
Cu (ng/ml)	80 - 140	7 <sup>a</sup>	0.25
Zn (ng/ml)	10 - 70	10 <sup>a</sup>	0.6
Cd (ng/ml)	0.01-2	<1 <sup>b</sup>	0.1
Pb (ng/ml)	0.5-15	3 <sup>a</sup>	0.01





Light → photochemical rxns, phototrophic organisms.

O<sub>2</sub> diffusion



Bacteria/ archea → Fe oxidizers, S oxidizers

Fe<sup>2+</sup> Oxidation to form Fe<sup>3+</sup>

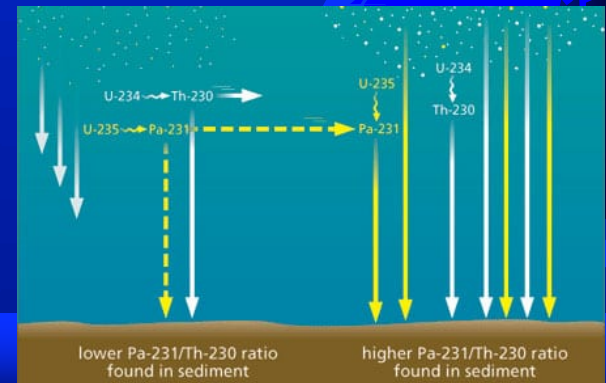
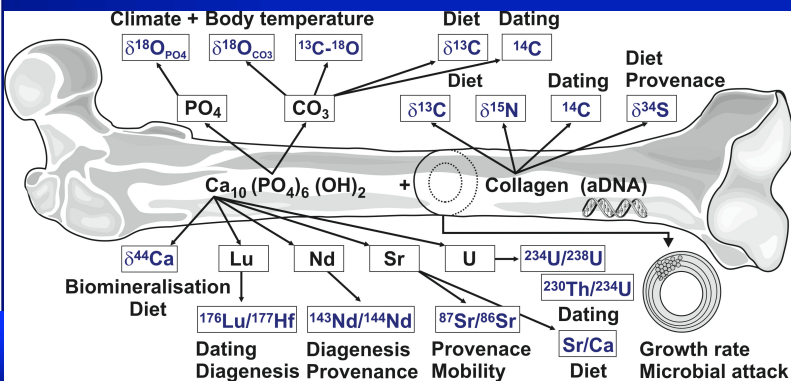
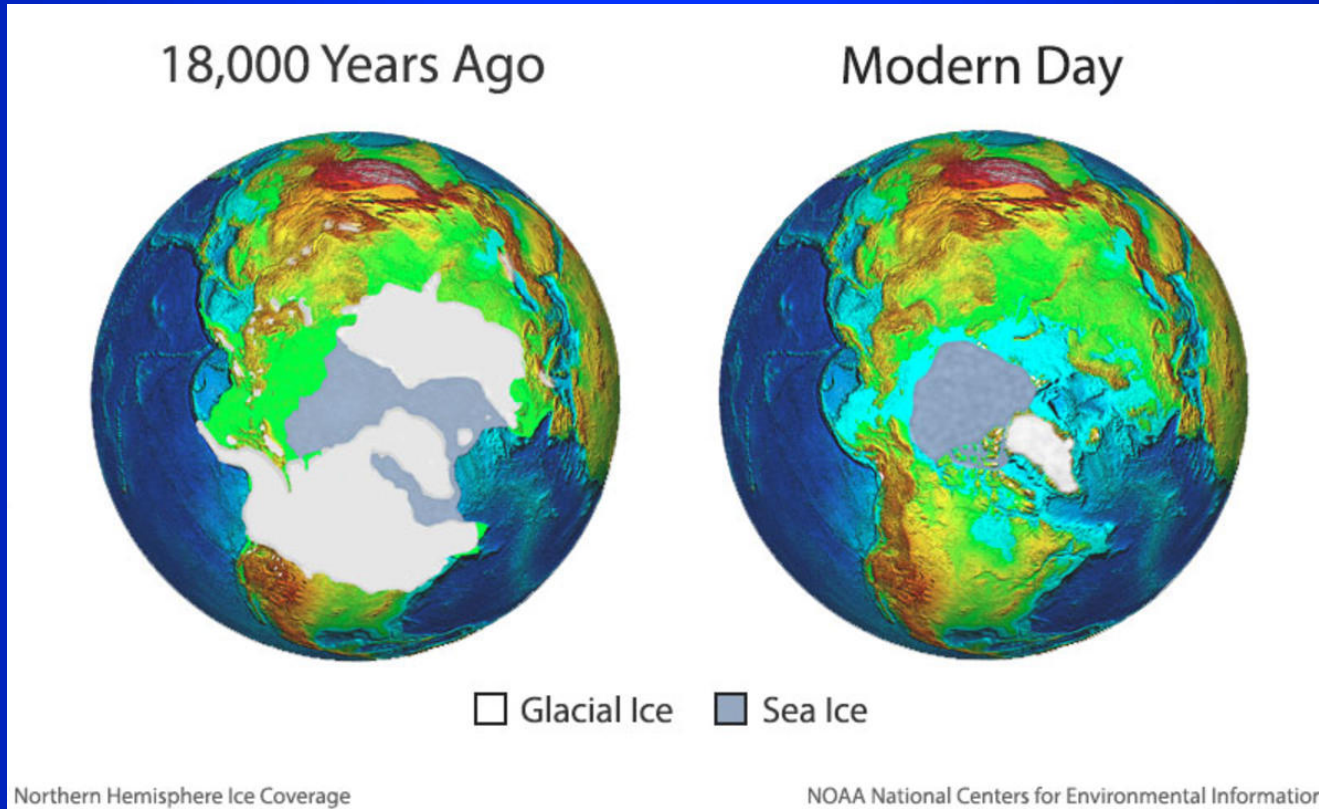


Fe<sup>3+</sup> reduction with OM to form → Fe<sup>2+</sup> and CO<sub>2</sub>

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> reduction with OM to form HS<sup>-</sup> + CO<sub>2</sub>

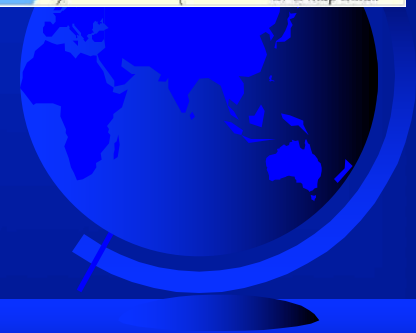
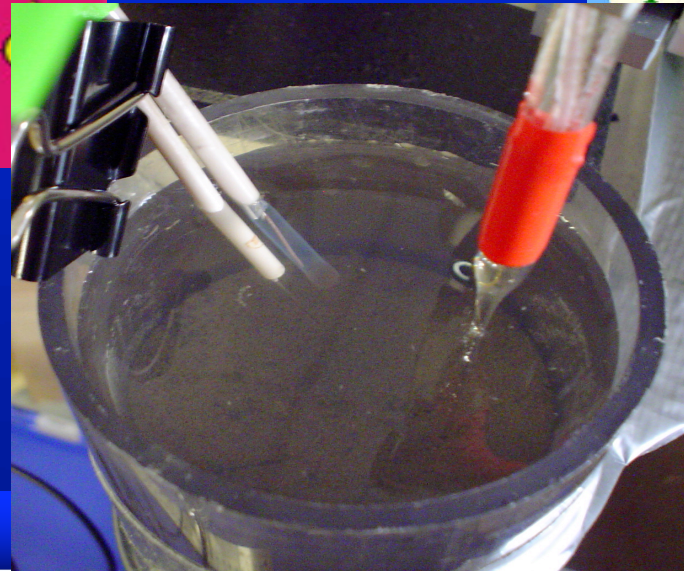
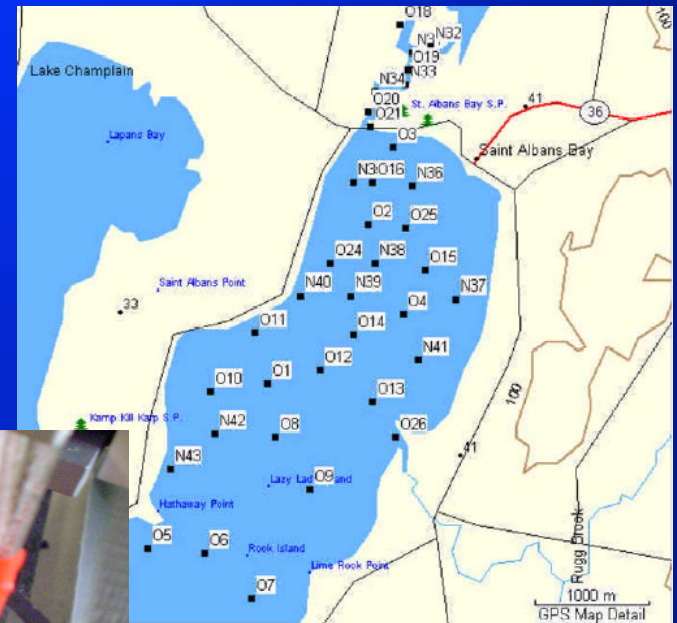
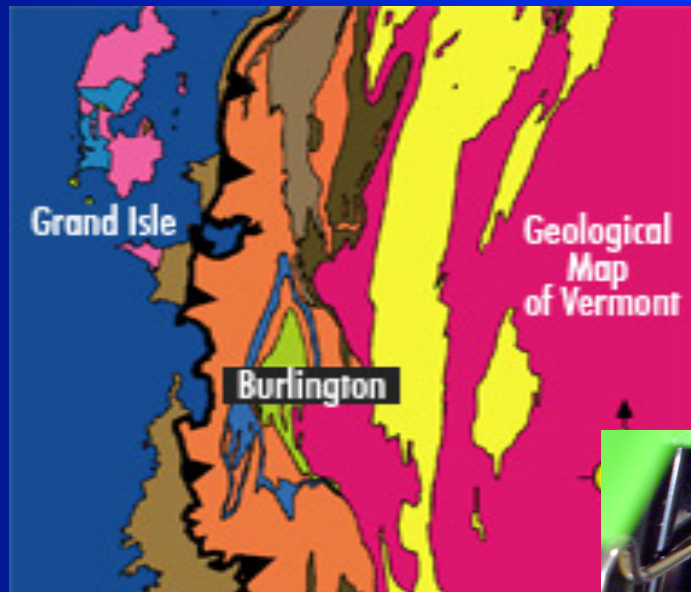
**BIOGEOCHEMISTRY**

# Paleoclimatology



# Field geochemistry

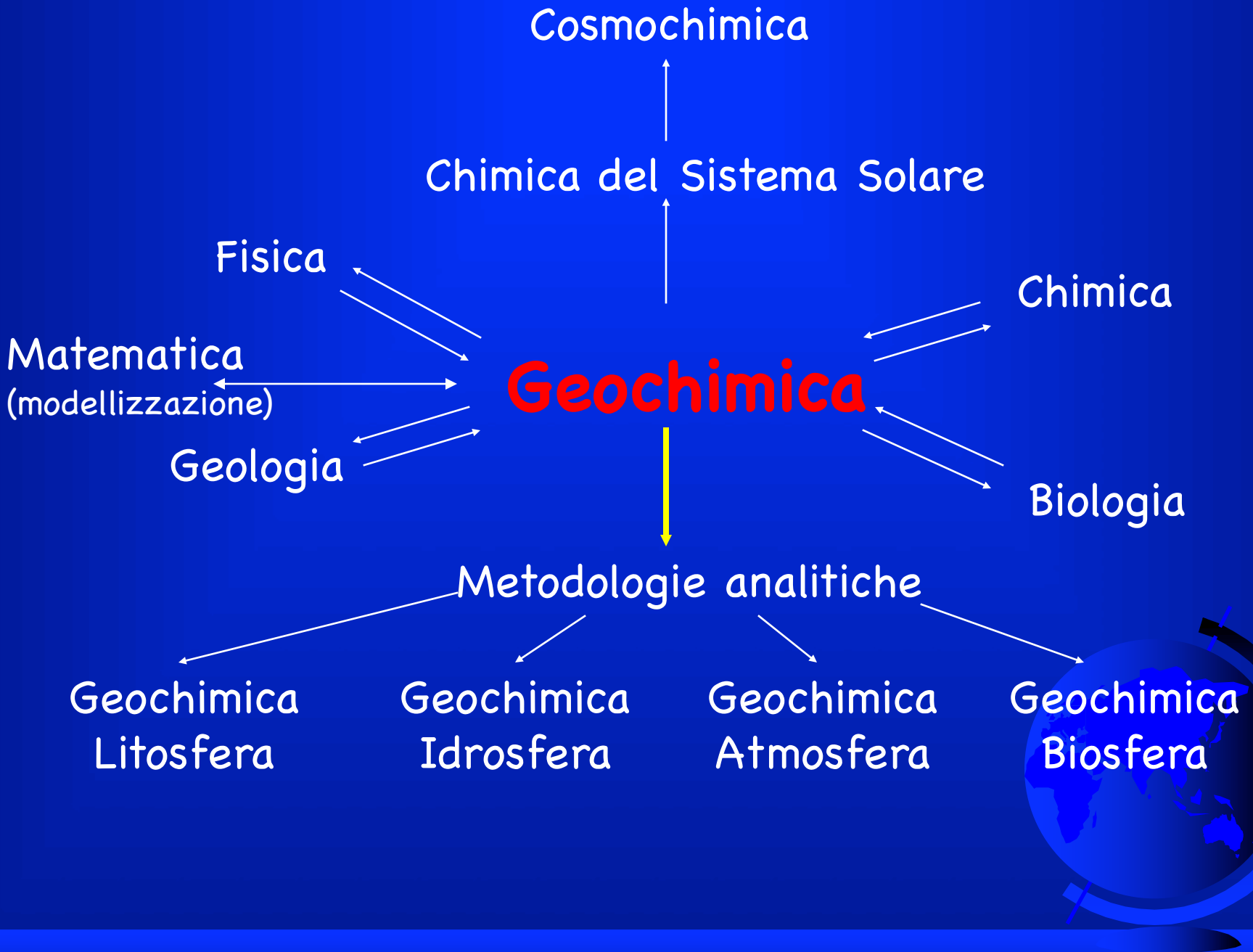
✦ Where, how and when collect a sample – At which scale?



# Settori della Scienze della Terra che utilizzano la Geochimica

- Geologia
- Mineralogia
- Petrologia ignea, metamorfica e sedimentaria
- Scienze Ambientali
- Vulcanologia
- Esplorazione del sottosuolo
- Sedimentologia
- Geocronologia
- Depositi minerali
- Scienze planetarie
- Paleontologia
- Idrogeologia
- Archeometallurgia







# Cenni di Geochimica Storica



C. F. Schöbein, 1838 conia il termine di Geochimica

*Assenza di metodologie analitiche per determinare la composizione dei materiali geologici*



F. W. Clarke, 1908 pubblica "The Data of Geochemistry"

V. I. Vernadsky, 1923 pubblica "La Geochemie"



A. Fersman, prof. Mineralogia a 27 anni, 1934-39: "Geochemistry"



**Victor M. Goldschmidt (1888-1947)**, tedesco di origine ebrea, è sicuramente il padre della Geochimica moderna

*Studies of Geochemistry ... convert idle speculation into ...understanding* K.O. Emery & J.M. Hunt, 1974



# Programma di Geochimica (9+3 CFU)

L'origine degli elementi

Il sistema solare

La costituzione della Terra

Le abbondanze degli elementi

Le leggi principali della Geochimica

La classificazione geochimica degli elementi

Il decadimento radioattivo

Litosfera - Idrosfera - Atmosfera

Geochimica in fase acquosa e stabilità dei minerali

L'alterazione chimica e la composizione delle acque

Cicli geochimici

Geochimica delle acque

Cenni di Geochimica Organica

Gas vulcanici

Esempi di applicazione

Geochimica isotopica

Geochimica ambientale

Geotermia

Geochimica e Vulcanologia

Geochimica e Paleoclimatologia

**Laboratorio per le  
analisi delle acque  
e delle rocce**





## Testi consigliati:

- ☀ Faure G., Principles and application of Geochemistry, 1998. Prentice Hall Inc.
- ☀ Krauskopf K.B. & Bird, D. K., Introduction to Geochemistry, 1995. McGraw-Hill International Editions.
- ☀ Appunti di Lezione  
(anche via e-mail e piattaforma Moodle)

Password: Geochimica

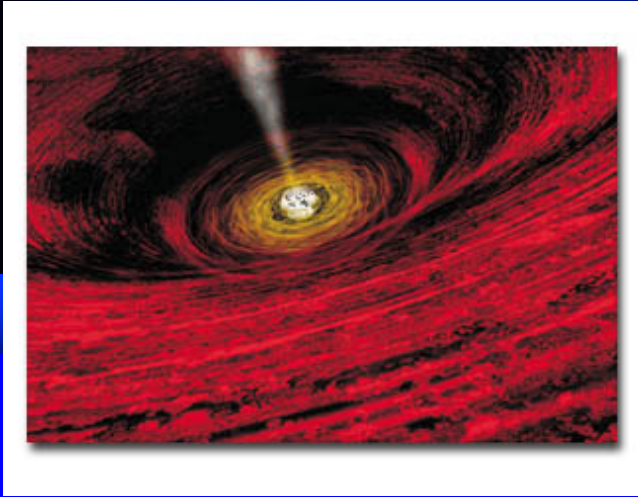
Le lezioni saranno inserite alla fine di ogni settimana



# L'Universo e il Sistema solare



Big Bang



Se l'Universo ha avuto un inizio ed è in espansione, allora non è infinito

Il "bordo" dell'Universo non può essere osservato con i telescopi perché la luce impiega troppo tempo per tornare

Siamo intrappolati nella nostra bolla in espansione e, quindi, se esistono altri universi non possiamo comunicare con loro

- $10^{-32}$  sec. Alta P e T: "quark soup"
- 13.8 sec.,  $T=3 \cdot 10^9$  K;  $0$  K =  $-273.15$  ° C e formazione di H e He
- 700,000 y,  $T=3 \cdot 10^3$  K; gli e- si attaccano a H e He
- Organizzazione in stelle, galassie, nuclei galattici
- Visivamente "Red-shift" delle linee spettrali e acusticamente dalla radiazione cosmica a micro-onde.

Espansione

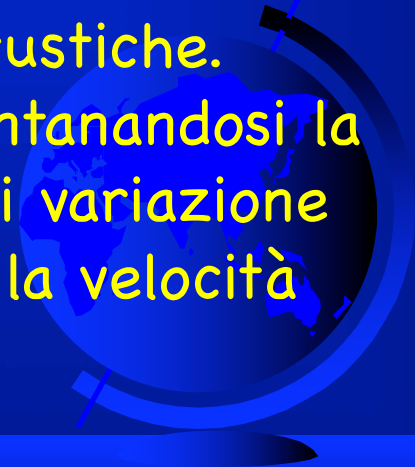
# *Effetto Doppler*

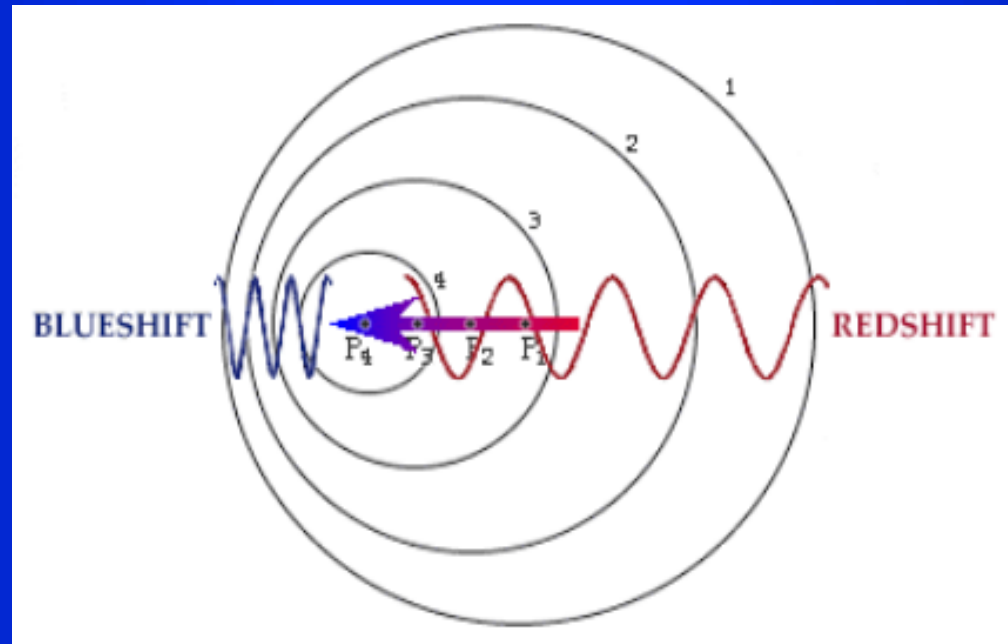
*(matematico e fisico austriaco, 1803-1853)*



Esempio della sirena dell'ambulanza o del clacson dell'auto:  
c'è uno shift nella frequenza delle onde acustiche.

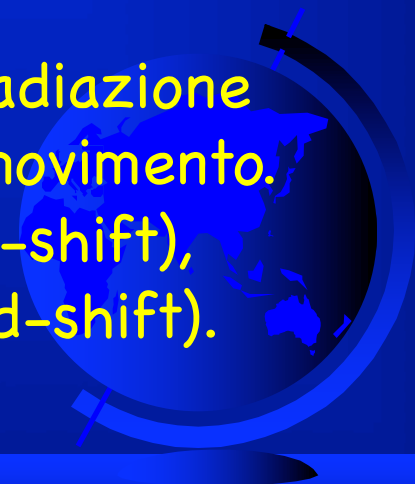
Avvicinandosi la frequenza aumenta mentre allontanandosi la  
frequenza diminuisce. Se misurassimo il tasso di variazione  
nella frequenza dell'onda potremmo calcolare la velocità  
dell'ambulanza o dell'auto.





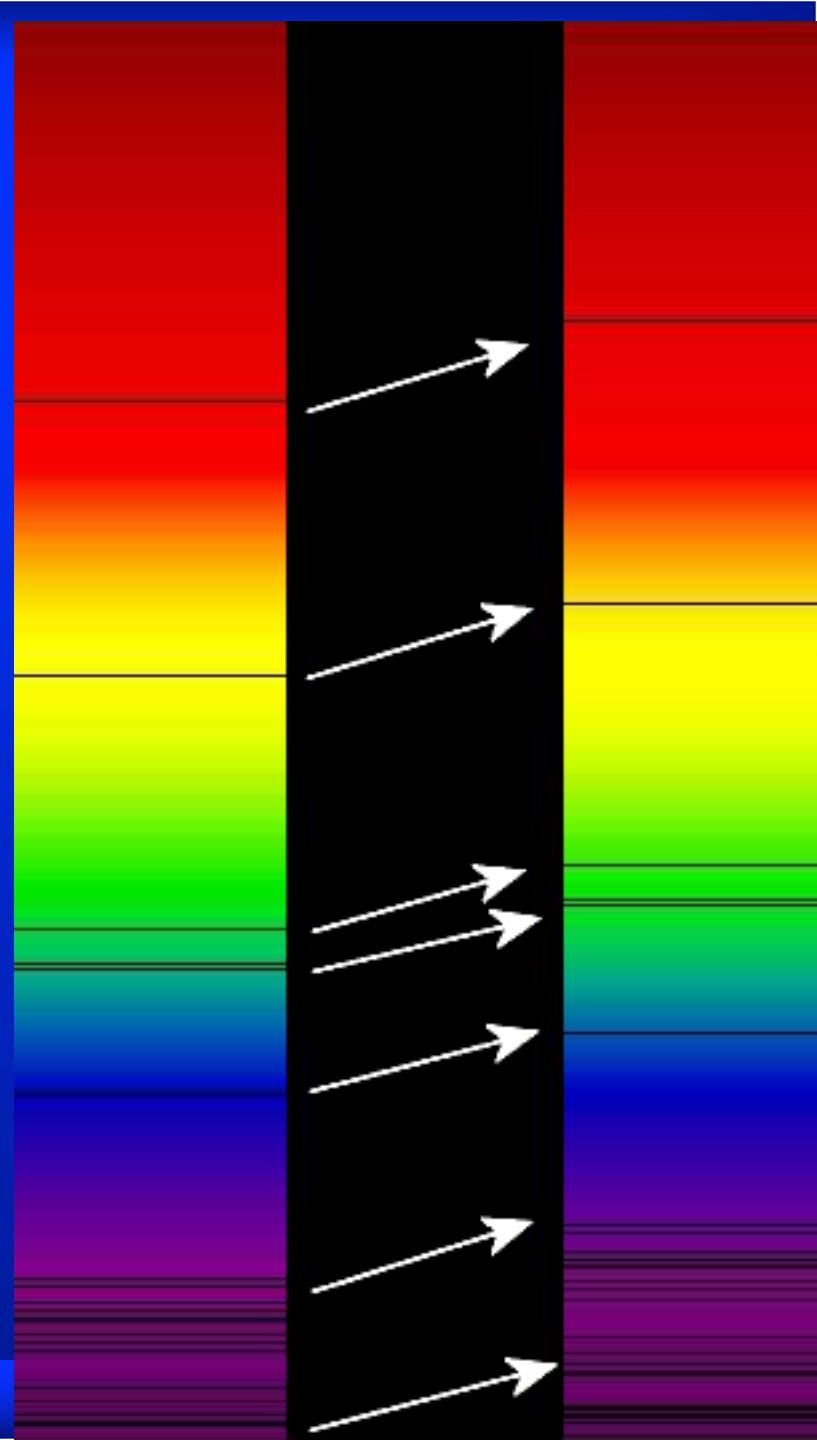
Per analogia, questo si può applicare alla radiazione elettromagnetica emessa da un oggetto in movimento.

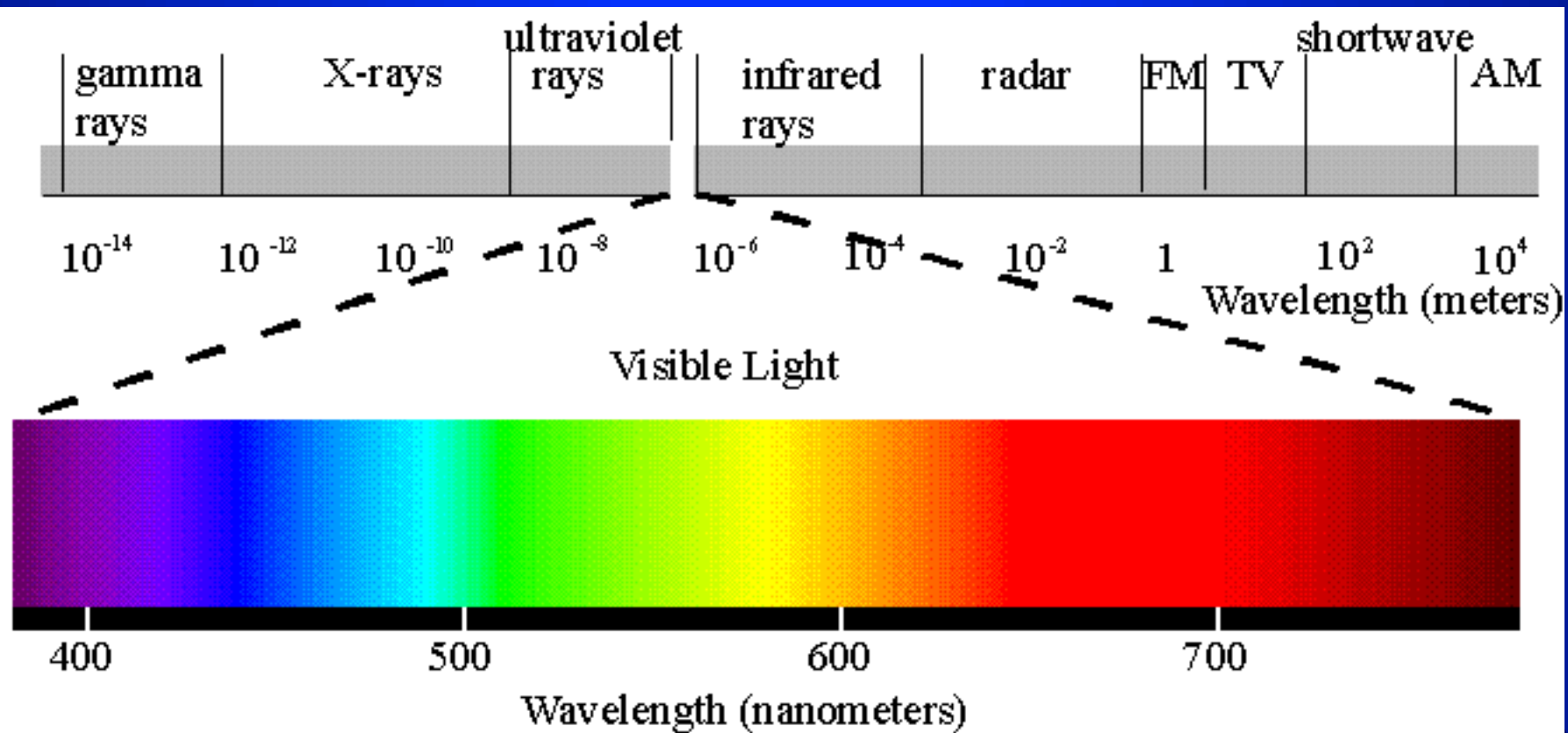
Avvicinandosi la frequenza aumenta (blue-shift), allontanandosi la frequenza diminuisce (red-shift).



# Spostamento verso il rosso

- Un stella in avvicinamento presenta uno spostamento della sua luce verso lunghezze d'onda più corte (blue-shift)
- Una stella in allontanamento presenta uno spostamento della sua luce verso lunghezze d'onda più elevate (red-shift)
- La maggior parte delle galassie sfugge dalla Via Lattea





[Table of Contents](#)

[Visual Stimulus](#)

# Il red-shift delle stelle

La lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) delle onde emesse da una sorgente in movimento sono più lunghe o più corte a seconda che la sorgente si allontani o si avvicini all'osservatore.

Lunghezza d'onda

$$z = \frac{\lambda_{\text{obsv}} - \lambda_{\text{emit}}}{\lambda_{\text{emit}}}$$

Frequenza

$$z = \frac{f_{\text{emit}} - f_{\text{obsv}}}{f_{\text{obsv}}}$$

$$1 + z = \frac{\lambda_{\text{obsv}}}{\lambda_{\text{emit}}}$$

$$1 + z = \frac{f_{\text{emit}}}{f_{\text{obsv}}}$$

$\lambda f = c$ , con  $c$  = velocità della luce



$$z = \frac{\lambda_{\text{obsv}} - \lambda_{\text{emit}}}{\lambda_{\text{emit}}}$$

Se  $z < 0$ , la sorgente si avvicina. Se  $z > 0$  la sorgente si allontana

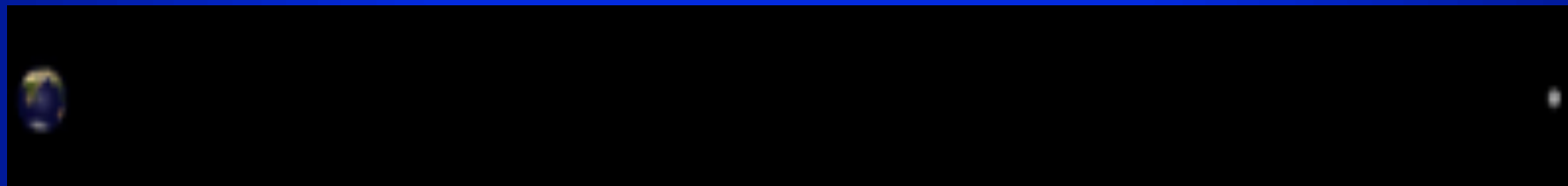
Hubble E. P. (1889-1953, USA):  
notò che le linee spettrali subivano  
un red-shift.





## Hubble E. P. (1889-1953, USA):

- dall'intensità apparente delle stelle si può misurare la distanza;
- conoscendo la composizione delle stelle (He e H), possiamo sapere la lunghezza d'onda di emissione;
- il red-shift aumenta con la distanza: le stelle più lontane si muovono ad una velocità superiore.



L'equazione di Hubble:  $v = Hd$

V: velocità di recessione (km/sec)

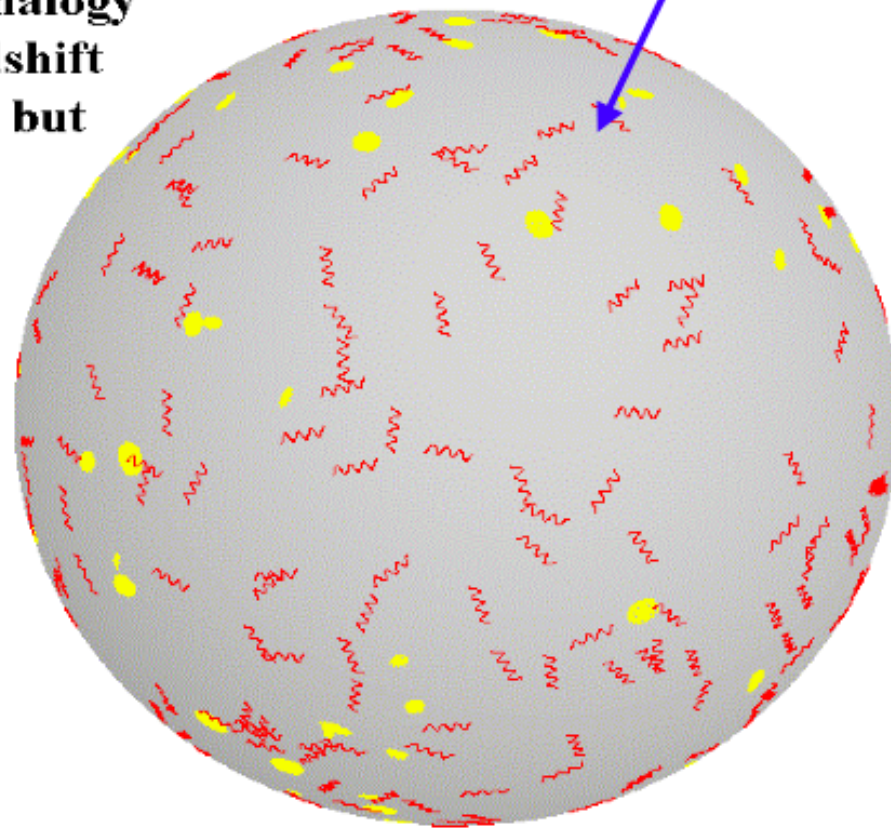
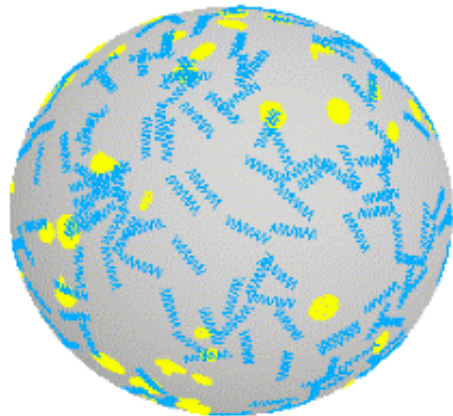
d: distanza (mega parsec, 1 parsec =  $31 \cdot 10^9$  km)

H: costante di Hubble, 20-15 km/sec/ $10^6$  anni luce

Anno luce: distanza che la luce compie in un anno ( $v = 299.792,458$  km/sec), i.e. 9461 miliardi km.



**Expanding Balloon Analogy**  
**Photons move and redshift**  
**Galaxies spread apart but**  
**stay the same size**



Più esterni,  
più veloci

$$v = Hd$$

$$v = d/t$$

$$\text{Quindi: } t = d/v \rightarrow t = \cancel{d/Hd}$$

$$t = 1/H$$

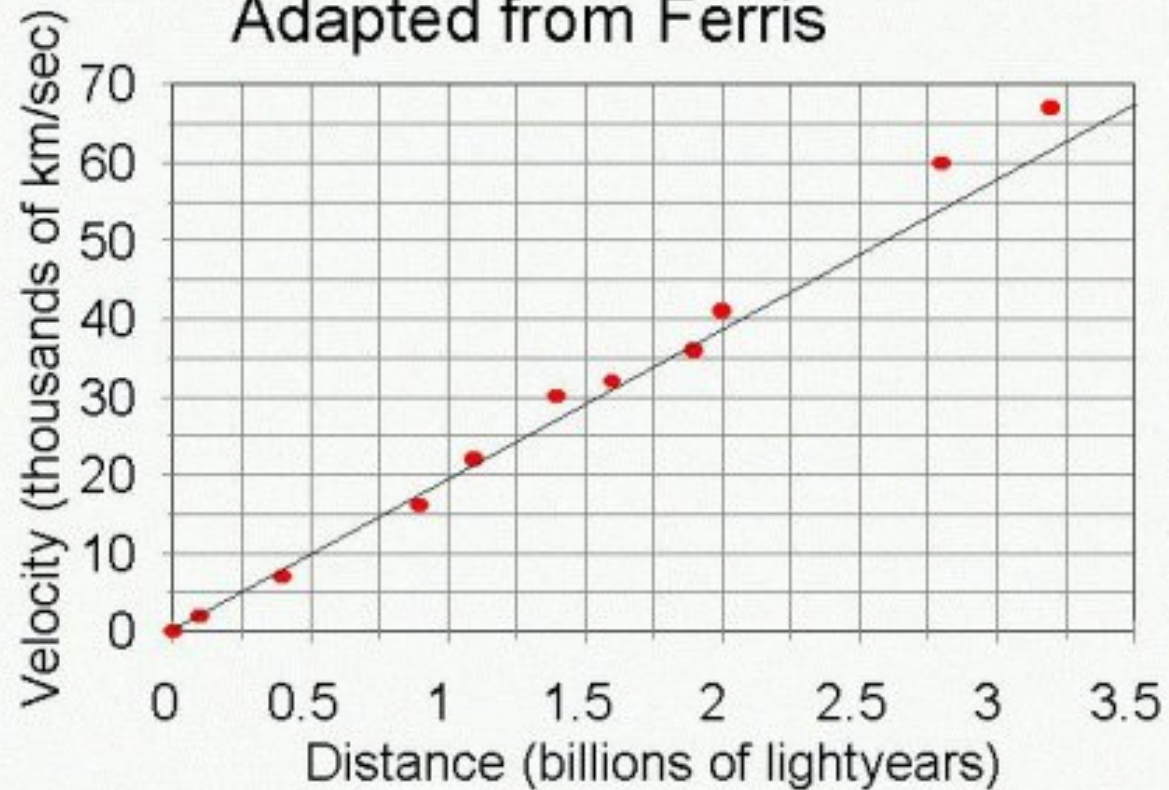


La Costante di Hubble secondo W. Baade è di  $15 \text{ km/sec}/10^6$  anni luce: velocità di espansione dell'Universo, con un tempo di espansione calcolato da Hainebach et al. (1978) di:  $14.5 \times 10^9 \text{ y}$

Più recentemente l'età è stata stimata essere  $13.7 \pm 0.2 \text{ Ga}$

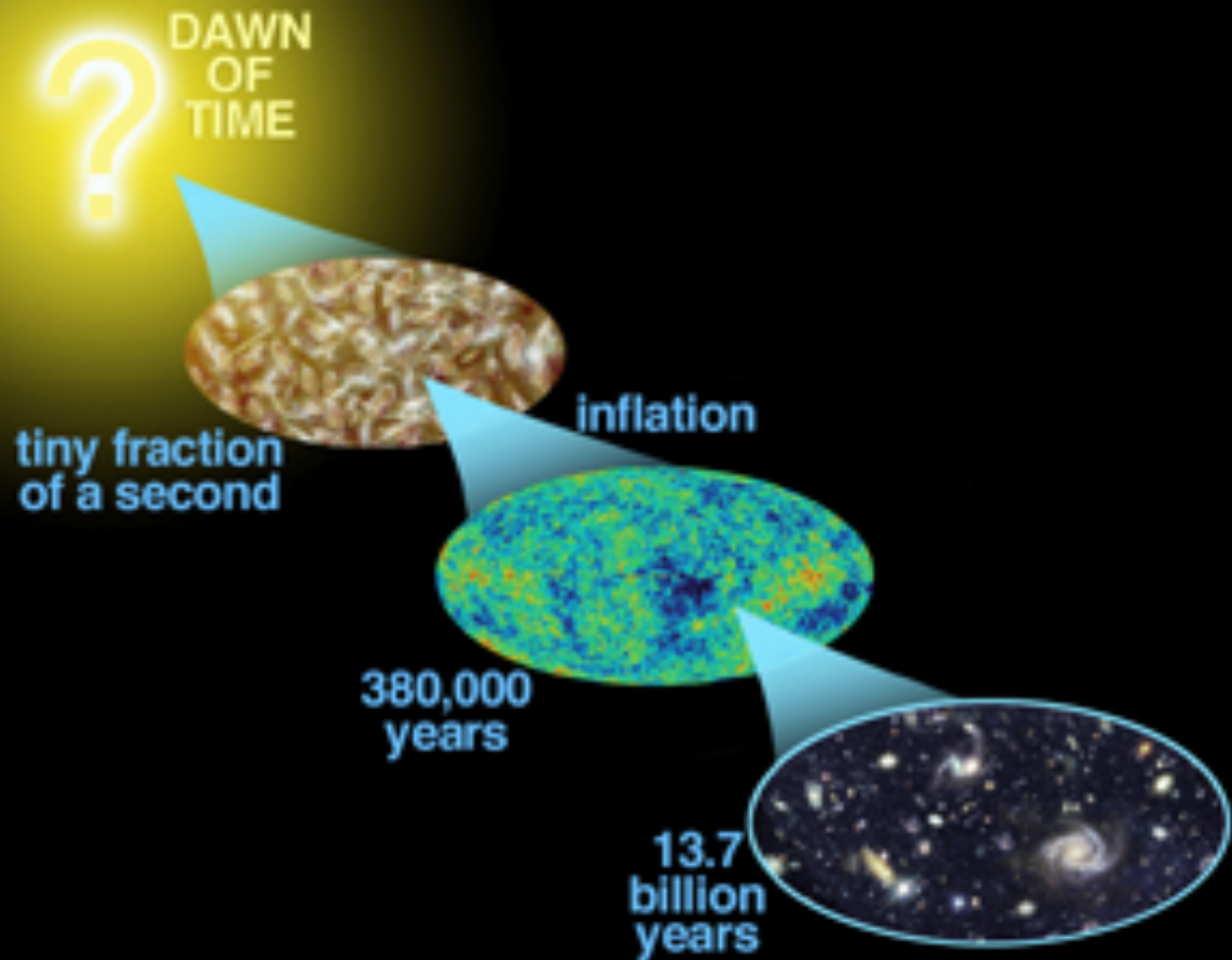
## Galactic Red-Shifts

Adapted from Ferris



• La relazione fra distanza e il red-shift dimostra l'espansione uniforme. Questo implica un "punto sorgente" di origine.

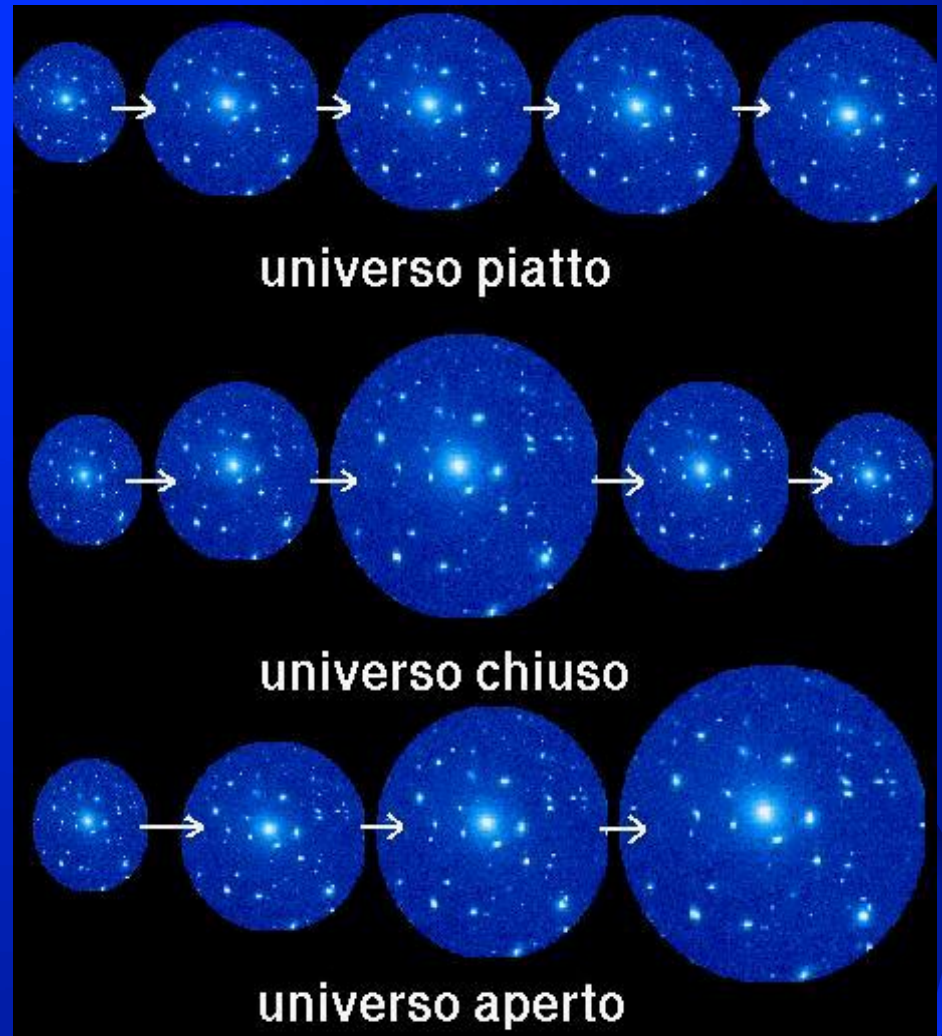
# La Teoria del Big Bang



# I possibili destini dell'Universo

Che cosa accadrà nei prossimi miliardi di anni?

- ❑ Teoria dell'espansione all'infinito: l'Universo continuerà ad espandersi finché tutte le stelle non si spegneranno;
- ❑ L'Universo oscillante: la velocità di espansione si dovrebbe arrestare per poi cambiare e provocare una contrazione;
- ❑ Teoria dello stato stazionario: l'Universo è sempre esistito e non avrà mai fine. Questa teoria è oggi ritenuta superata.



Gerarchicamente, la Materia dell'Universo può essere suddivisa in:

Agglomerati galattici

Galassie

Lo spazio fra stelle e galassie è occupato da raggi cosmici (particelle nucleari energetiche) e fotoni (luce)

Stelle, pulsar e buchi neri

**Dimensione**

Pianeti

Satelliti

Comete

Asteroidi

**decrescente**

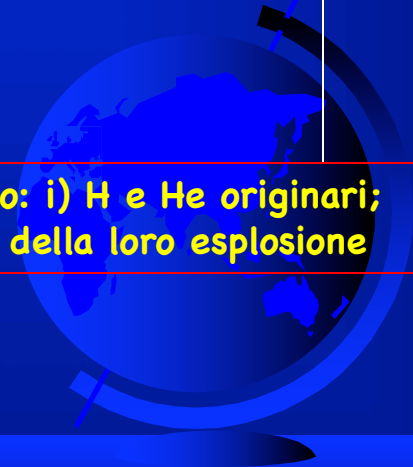
Meteoriti

Polvere cosmica

Molecole

Atomi di H e He

Gas e particelle sono nello spazio fra le stelle ove si trovano: i) H e He originari; ii) elementi più pesanti per nucleosintesi nelle stelle prima della loro esplosione



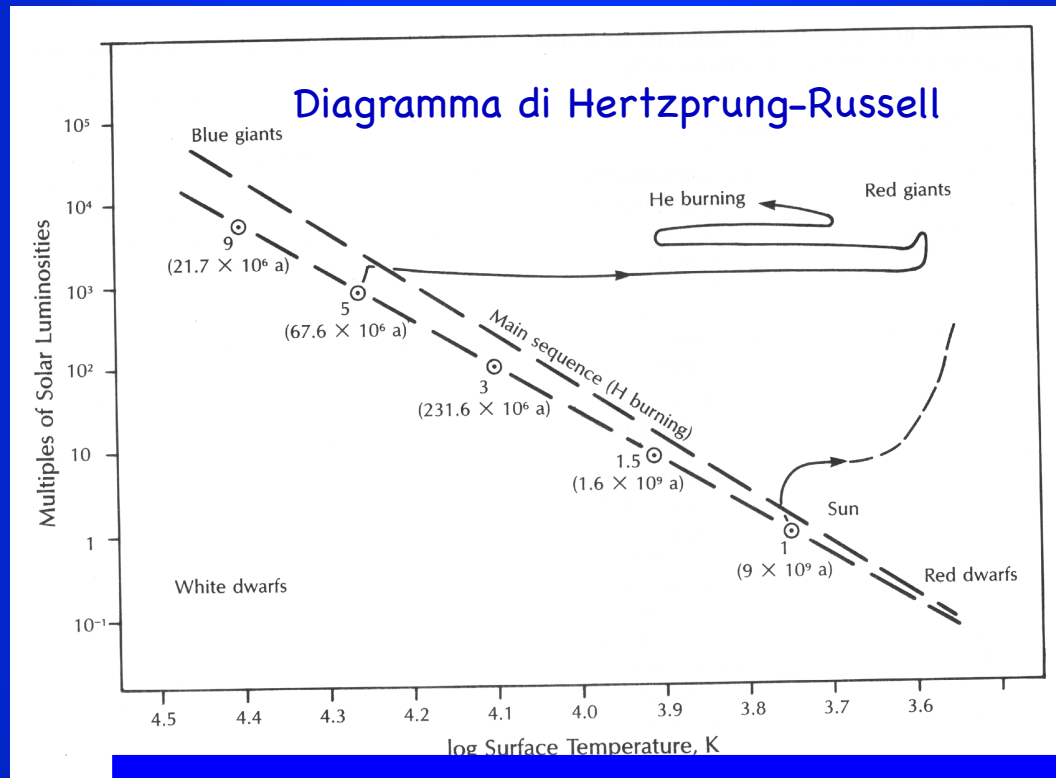
# EVOLUZIONE DELLE STELLE

- ◆ L'evoluzione delle stelle è descritta da:
  - Luminosità  $\propto$  massa
  - Temperatura della superficie  $\propto$  volume
- Φ Le stelle si formano dalla contrazione del gas interstellare. Come la contrazione procede, la temperatura aumenta e vengono emessi IR e radiazioni sul visibile.
- Φ Quando  $T \sim 20 \times 10^6$  K, la fusione di H è possibile. La maggior parte delle stelle derivano la propria energia dalla fusione di H e cadono nella sequenza principale del diagramma di Hertzsprung-Russell.





# L'origine degli elementi



0 ° C = -273.15 K



Il diagramma è per masse solari da 1 a 9. Quando l'idrogeno è consumato nell'interno di una stella, questa evolve verso le "giganti rosse" che generano energia per fusione di He.



Una stella con massa superiore di 5 volte il Sole è circa 1000 volte più luminosa con T di 18.000 K, rispetto ai 5800 K del Sole. E rimane nella traiettoria principale per circa  $68 \times 10^6$  anni.

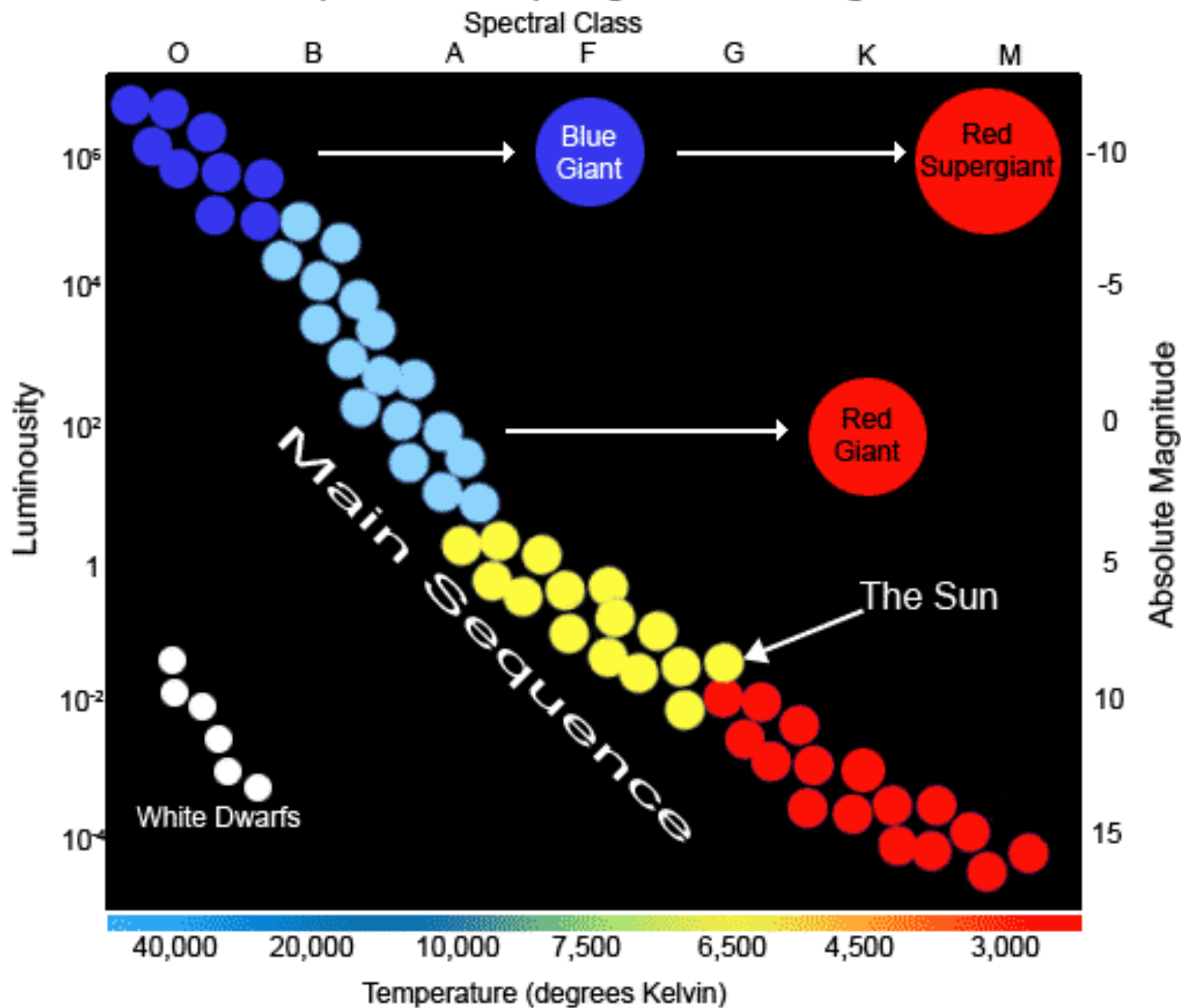


Il tempo per cui una stella sta nella sequenza principale dipende da:

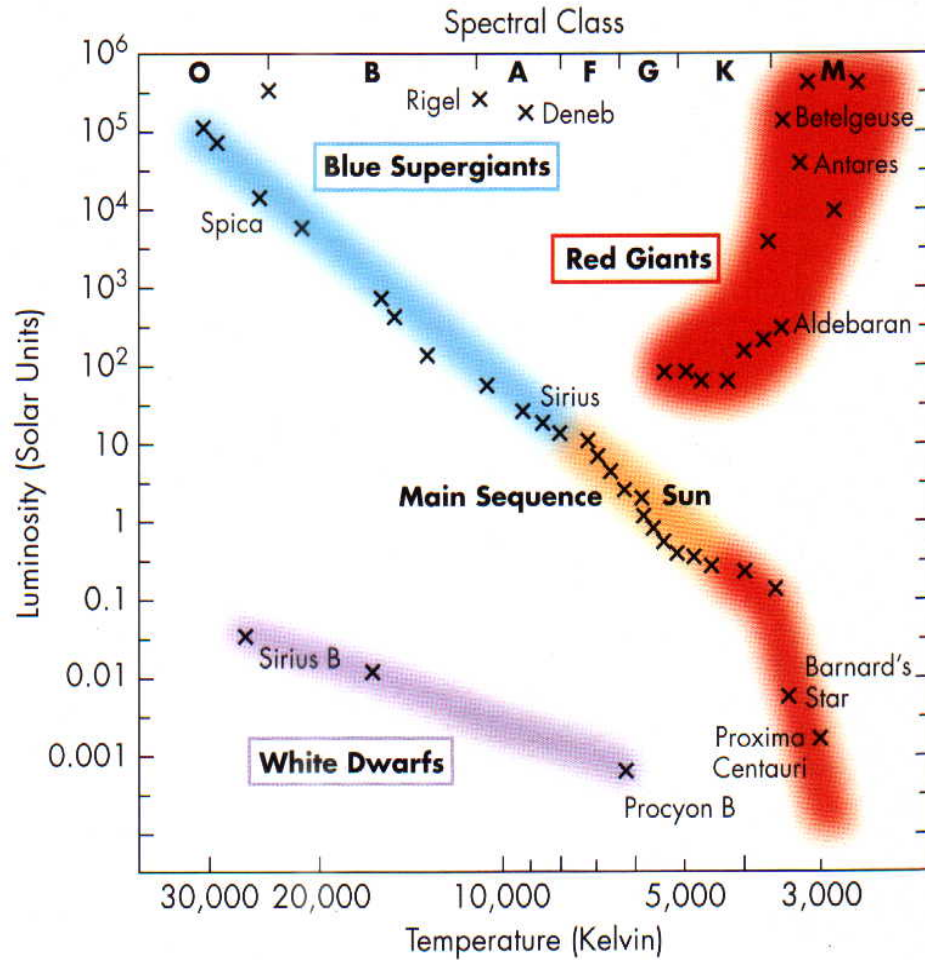
- massa
- rapporto iniziale H/He nella nebula gassosa



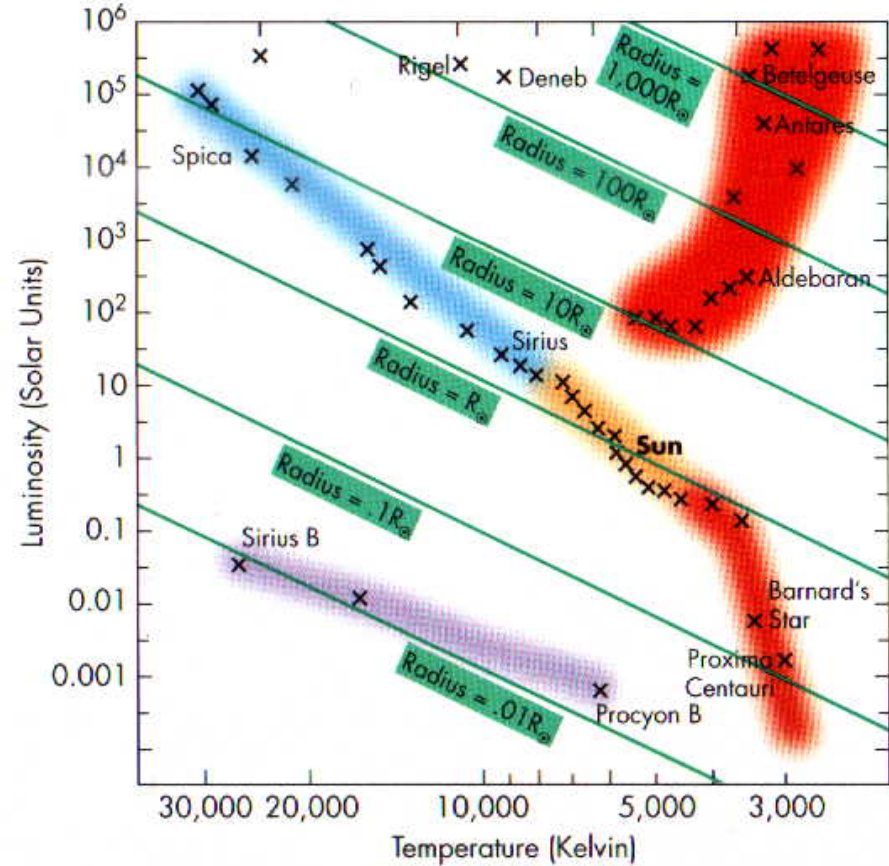
# Simplified Hertzsprung - Russell Diagram



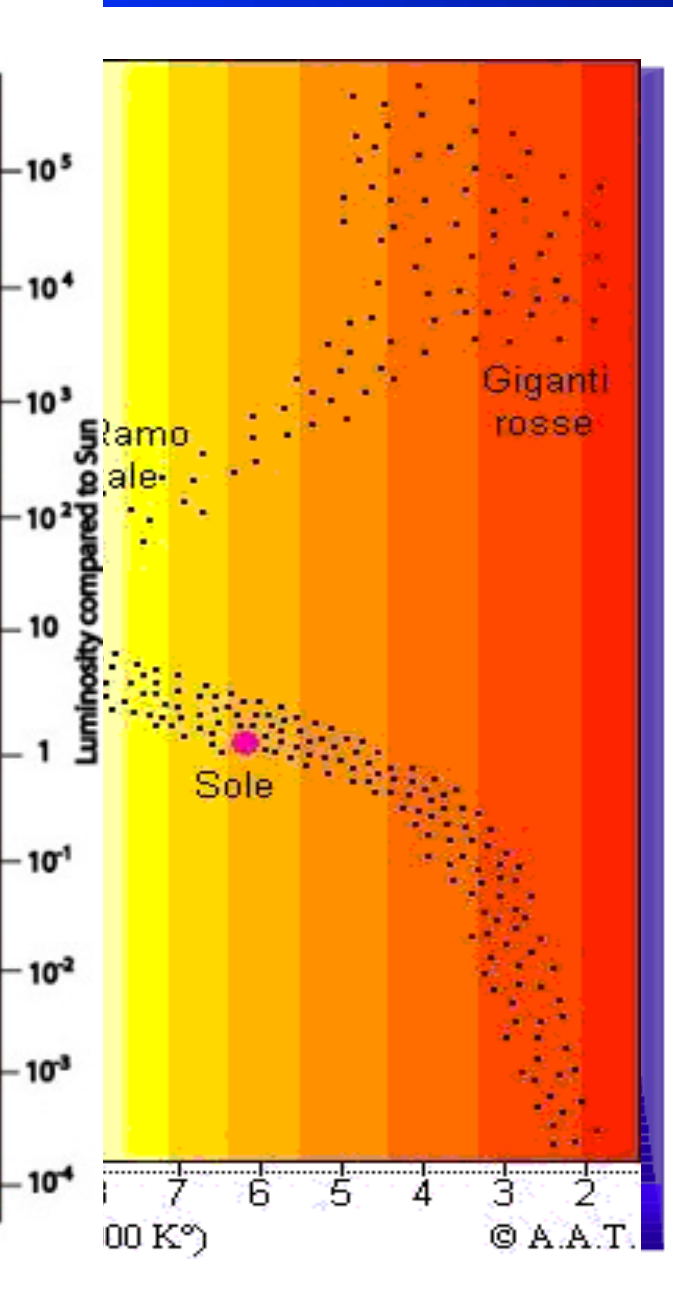
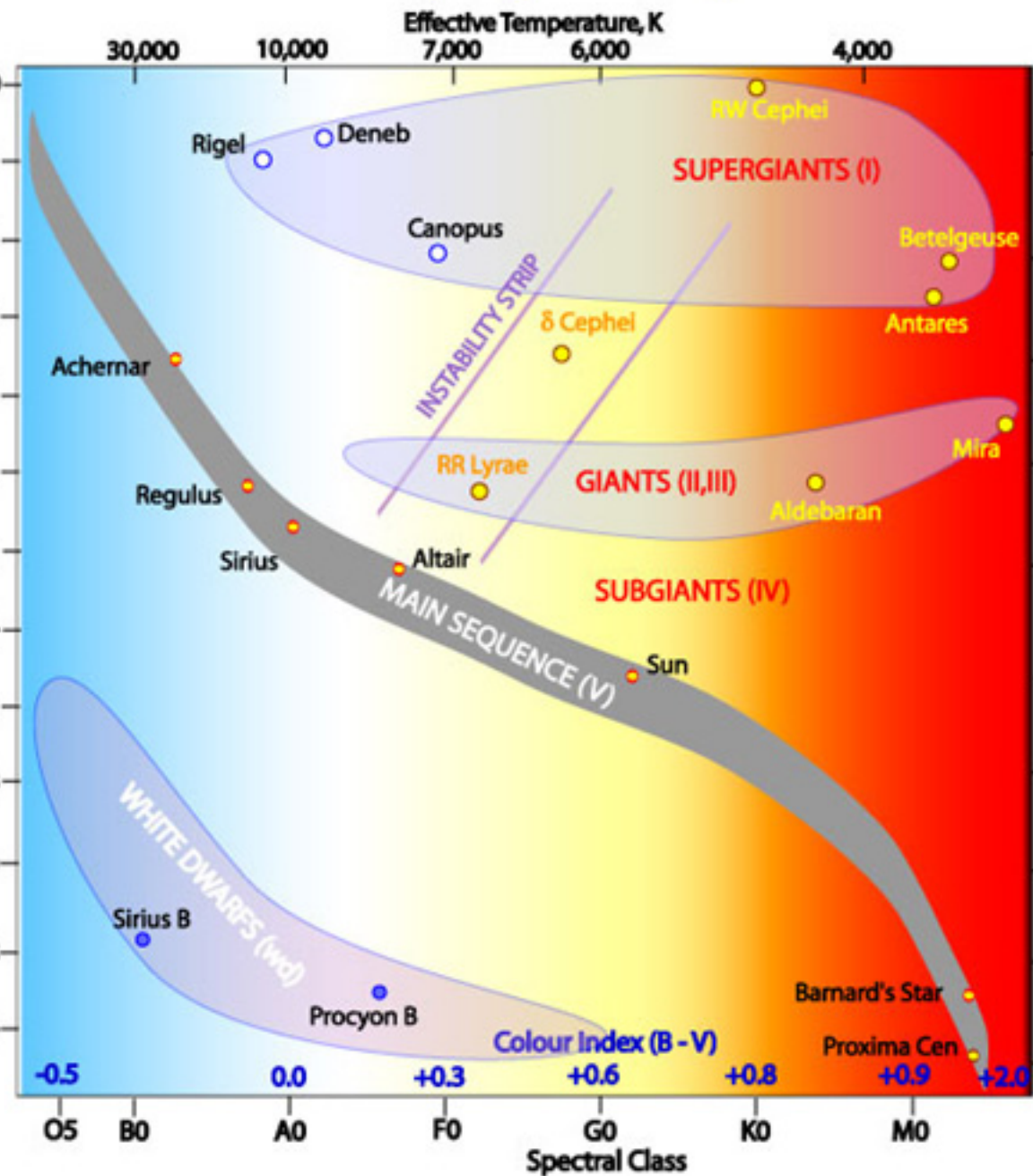
# Masses on the Main Sequence



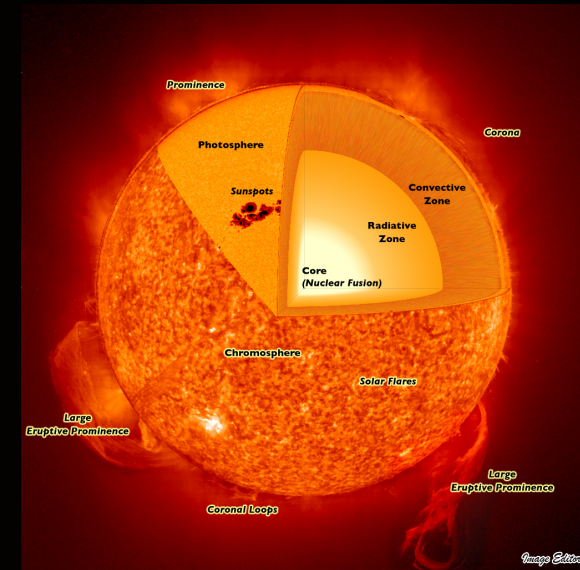
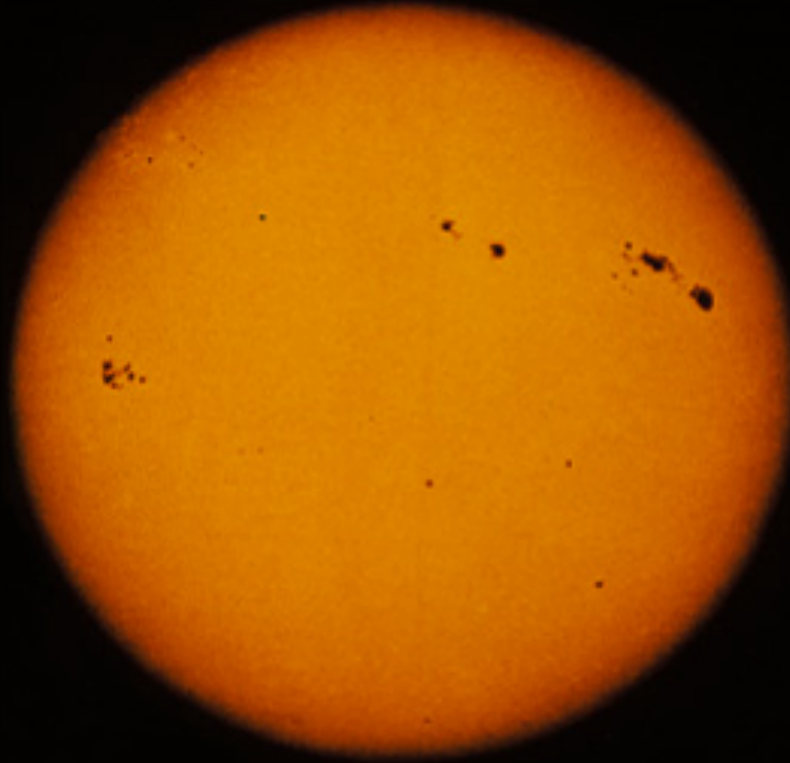
# Stellar Sizes



# Hertzspung-Russell Diagram



# The Sun

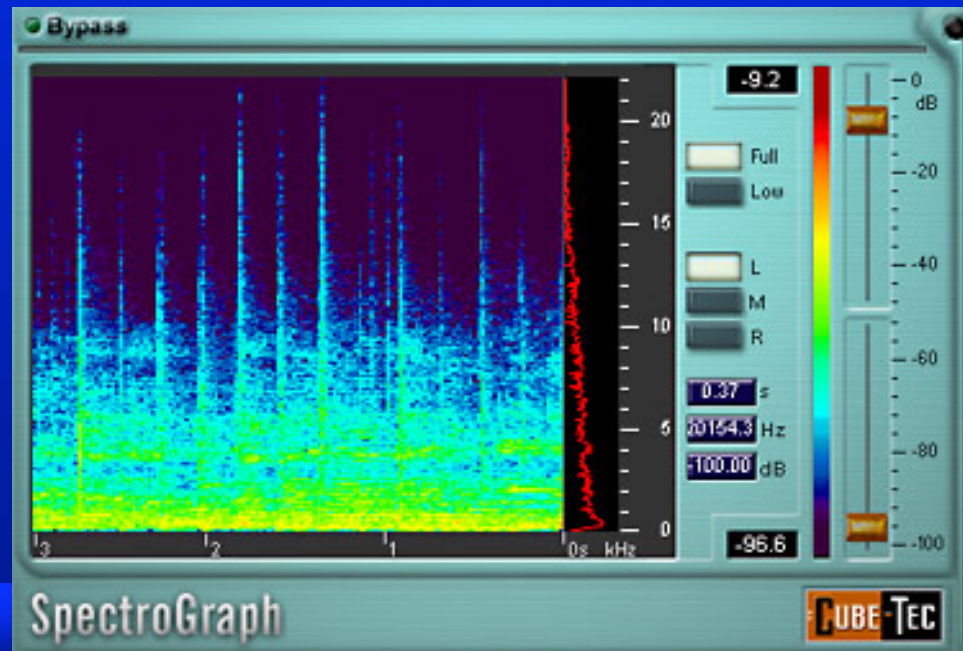


The energy output of the Sun is  $4 \times 10^{33}$  erg/s =  $4 \times 10^{20}$  megawatts

If the Sun were burning coal or gasoline, it could last a few thousand years.

# Spectrographs

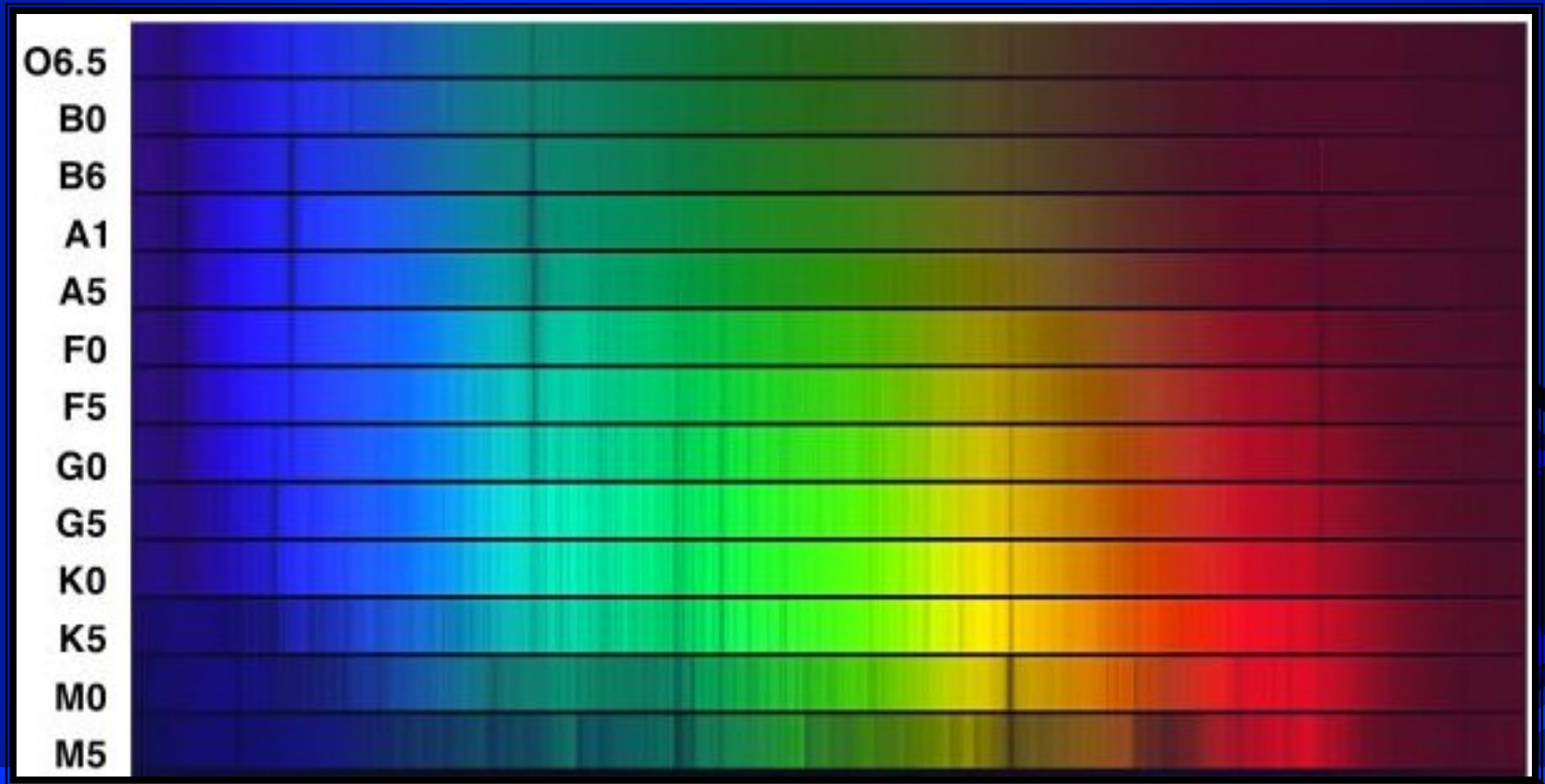
- ✦ Spectrograph: Breaks the light from an object into colors and photographs the resulting spectrum.
- ✦ Astronomers use spectrographs to get information about stars, including their chemical compositions and temperatures.



# Spectral types

Classification according to spectrum (ex: strength of hydrogen lines)

→ **O B A F G K M** sequence (*Oh be a fine girl, kiss me...*)



# Chemical Composition and Temperature of Stars

- ✦ Chemical elements in a star's atmosphere absorb light from the star. Each element absorbs light at different wavelengths. Thus, the comparison with known spectrums of different elements, astronomers can infer which elements are found in a star.
- ✦ Chemical composition of stars are about 73% hydrogen, 25% helium, and 2% other elements. By comparing a star's spectrum with the known spectrums of elements at different temperatures, astronomers can infer how hot the star is.





# In Geochimica gli elementi vengono espressi in vari modi

- *Per origine nucleosintetica e proprietà nucleari*
  - primordiale, H-burning, processi di giganti rosse, cattura neutronica
  - stabili, radioattivi a lunga vita, radioattivi a vita breve (estinti?)
- *Per volatilità in equilibri gas-solido, i.e. per temperature di condensazione*
  - refrattari, moderatamente volatili, altamente volatili
- *Per affinità durante la differenziazione chimica della Terra*
  - siderofili, litofili, atmofili
- *Per compatibilità (rapporto di concentrazione solido/fuso) nelle rocce ignee*
  - compatibili, incompatibili, molto incompatibili; generalmente in funzione del raggio ionico e della carica (posizione nella tavola periodica)
- *Per abbondanza, maggiore di, minore di, ecc.*



# How do we know the abundances of the elements in the solar system?

Spectroscopic investigations of the Sun and other stars

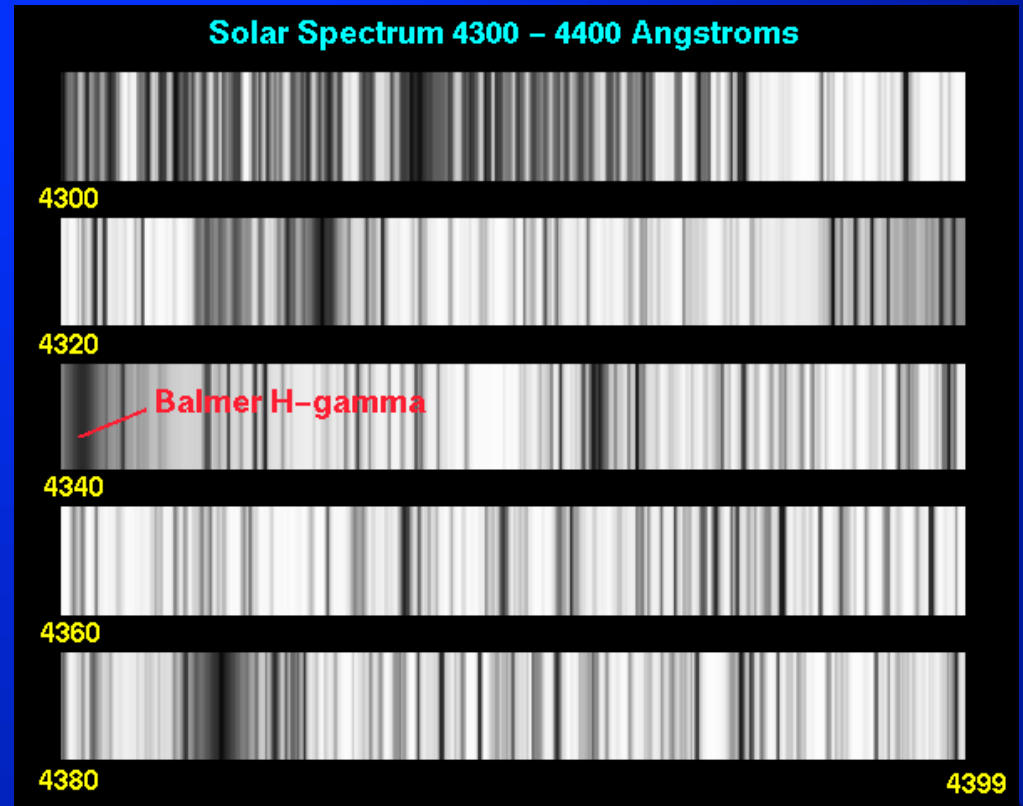
Meteorites, terrestrial and extra-terrestrial rocks

Indirect measurements based on physical properties



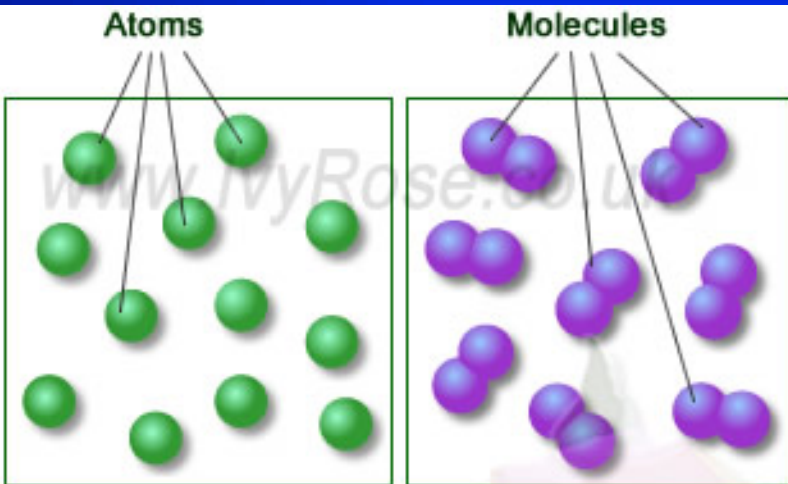
# The Solar Atmosphere

- ✓ The solar spectrum has *thousands of absorption lines*
- More than 67 different elements are present!
- *Hydrogen* is the most abundant element followed by *Helium* (1<sup>st</sup> discovered in the Sun!)



Spectral lines only tell us about the part of the Sun that forms them (photosphere and chromosphere) but these elements are likely representative of the entire Sun.

Elements



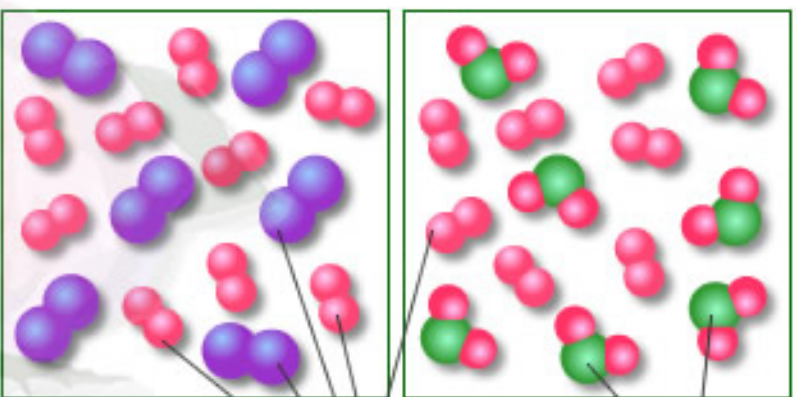
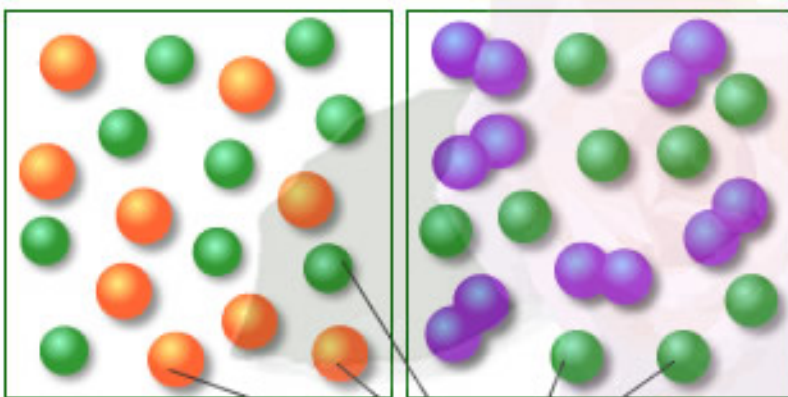
**Atoms** are represented by single spheres.  
Spheres of the same size and colour represent atoms of the same element.

**Molecules** are represented by two or more spheres joined together.

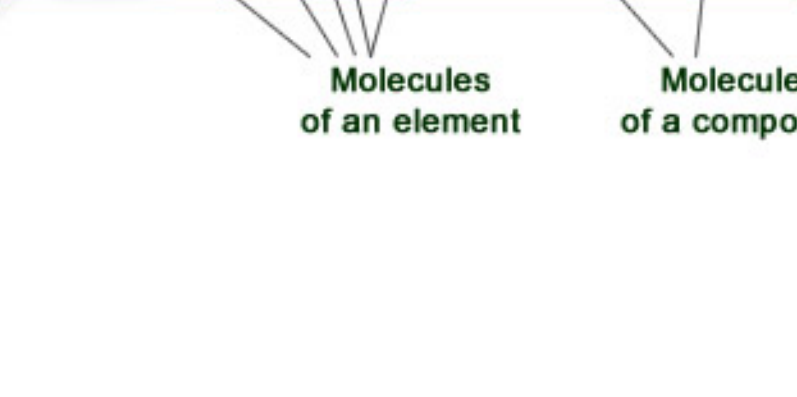
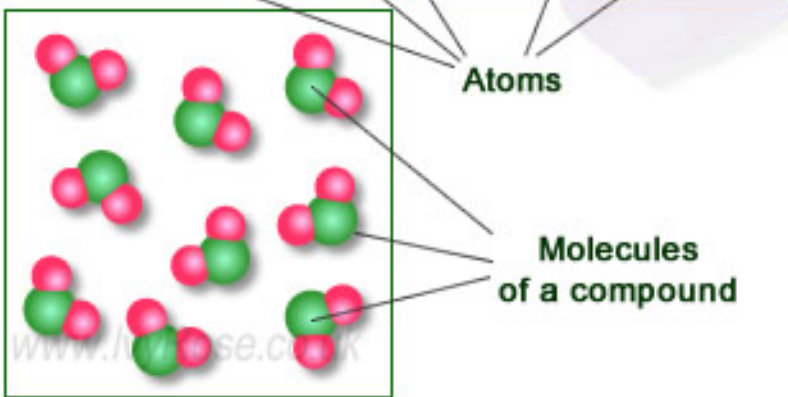
**Molecules of Elements** are represented by two or more spheres of the same size and colour joined together.

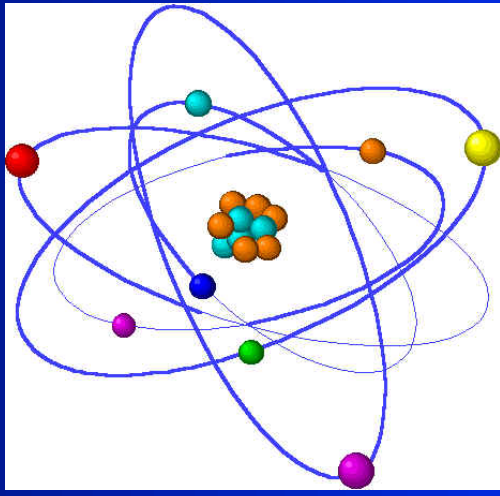
**Molecules of Compounds** are represented by two or more spheres of different sizes and colours joined together.

Mixtures

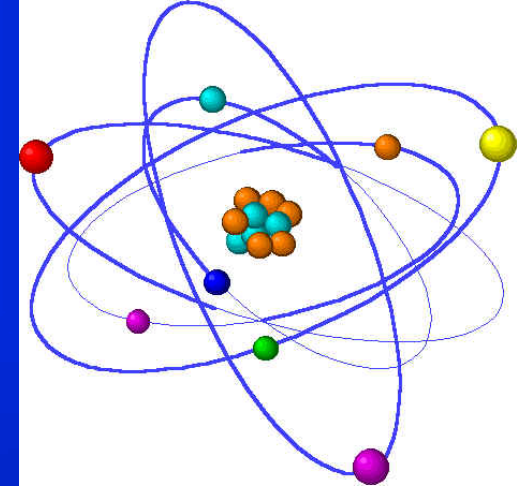


Compounds



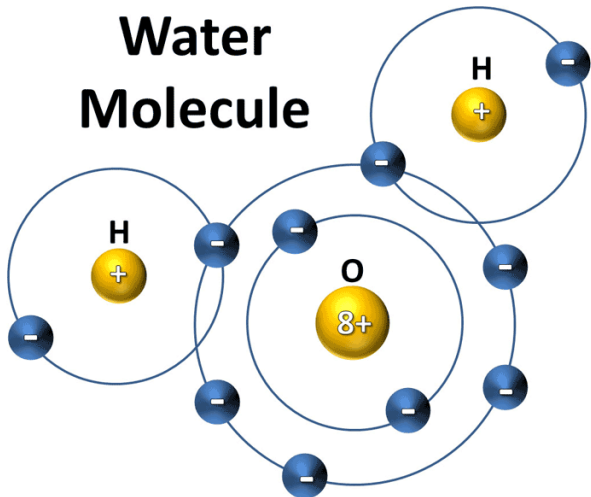


Un elemento è una sostanza che non può trasformarsi in un'altra per mezzo di reazioni chimiche ORDINARIE



Un atomo è la più piccola unità di sostanza che contiene le proprietà di quell'elemento

**Water Molecule**



La molecola è la più piccola unità di un composto che contiene le proprietà di quella sostanza



# Struttura atomica

Protoni e neutroni formano il nucleo di un atomo

Il nucleo rappresenta una piccola frazione del volume ma praticamente tutta la massa

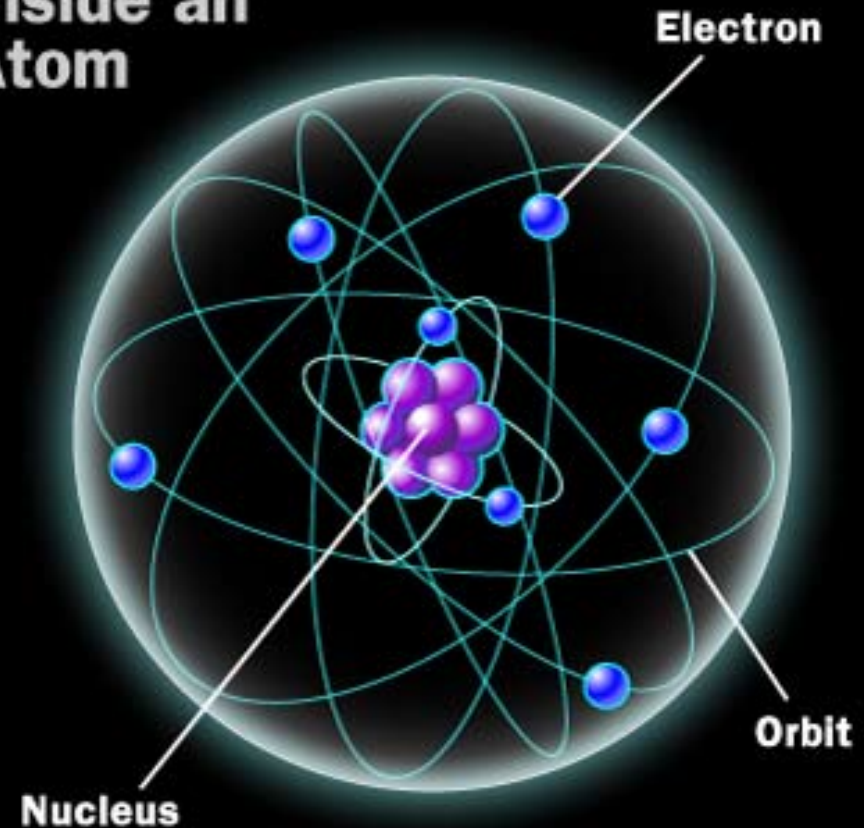
Gli elettroni gravitano attorno al nucleo in orbite discrete o livelli di energia

Le orbite rappresentano quasi tutto il volume di un atomo ma solo una frazione della massa

Elettroni e protoni sono uguali in un atomo neutro

Le reazioni chimiche ORDINARIE coinvolgono solamente gli elettroni più esterni (valenza)

## Inside an Atom



©2003 HowStuffWorks



# The origin of the elements

The process that allows the creation of the elements (nucleus), e.g. (synthesized) is named **Nucleosynthesis**

**Nucleosynthesis** is occurring since the formation of the Universe

The elements tend to be associated each other to form any kind of material, including the human beings



Un nucleo atomico lo possiamo descrivere secondo questa semplice equazione

$$A = Z + N$$

A: Numero di Massa

Z: Numero Atomico (o di protoni)

N: Numero di neutroni





**NUCLIDE:** Un tipo di nucleo specificato dal suo numero atomico, dalla sua massa atomica e dal suo stato di energia.

**NUCLEONE:** un protone o un neutrone, come parte di un nucleo atomico.



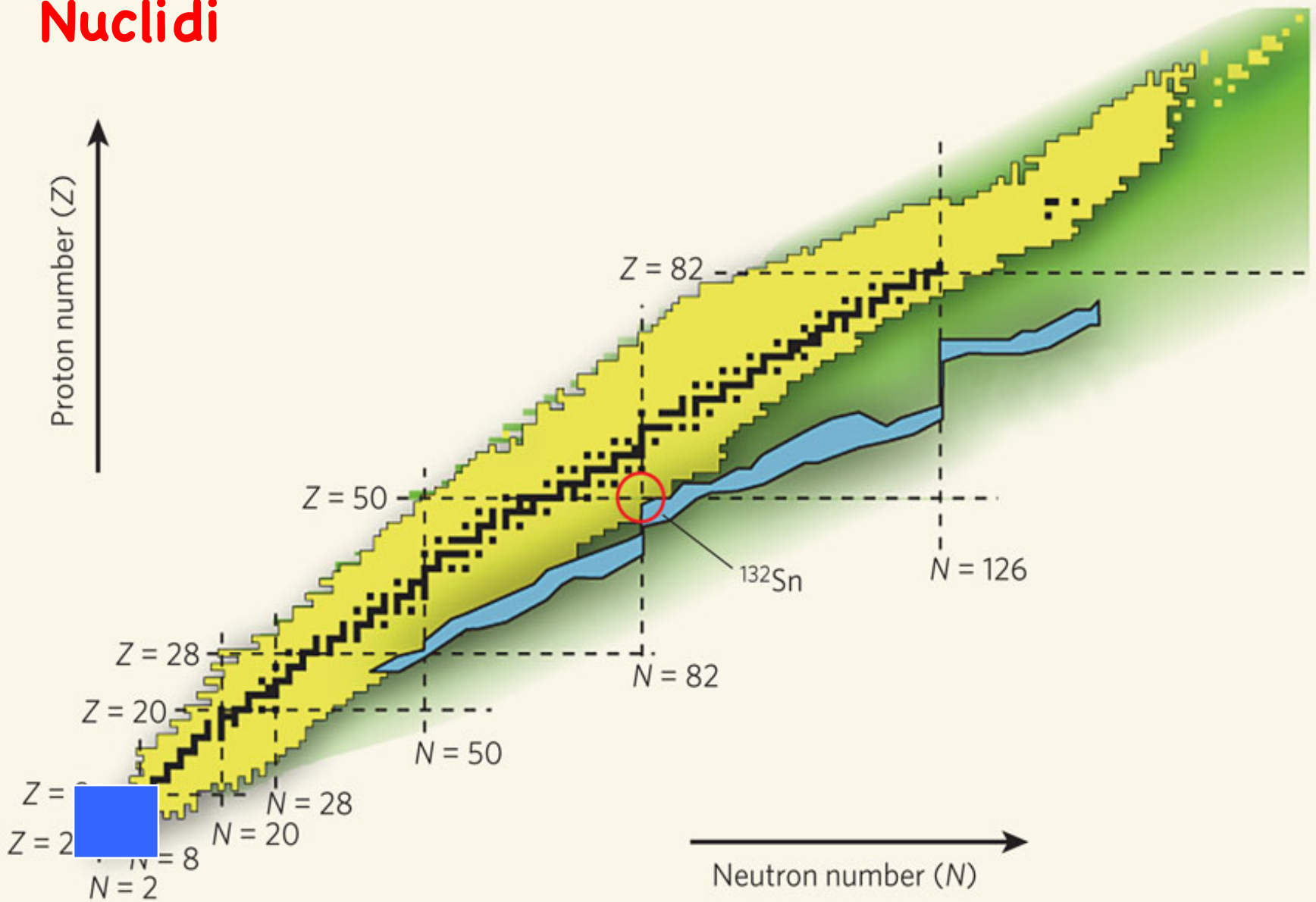
**NUCLIDE:** Un tipo di nucleo specificato dal suo numero atomico, dalla sua massa atomica e dal suo stato di energia.

Questo significa che possiamo avere dei nuclei con differenti quantità di neutroni e protoni. Il numero di neutroni e di protoni "dettano" la stabilità o meno di un nucleo che può essere:

**STABILE o RADIOATTIVO**



# Carta dei Nuclidi

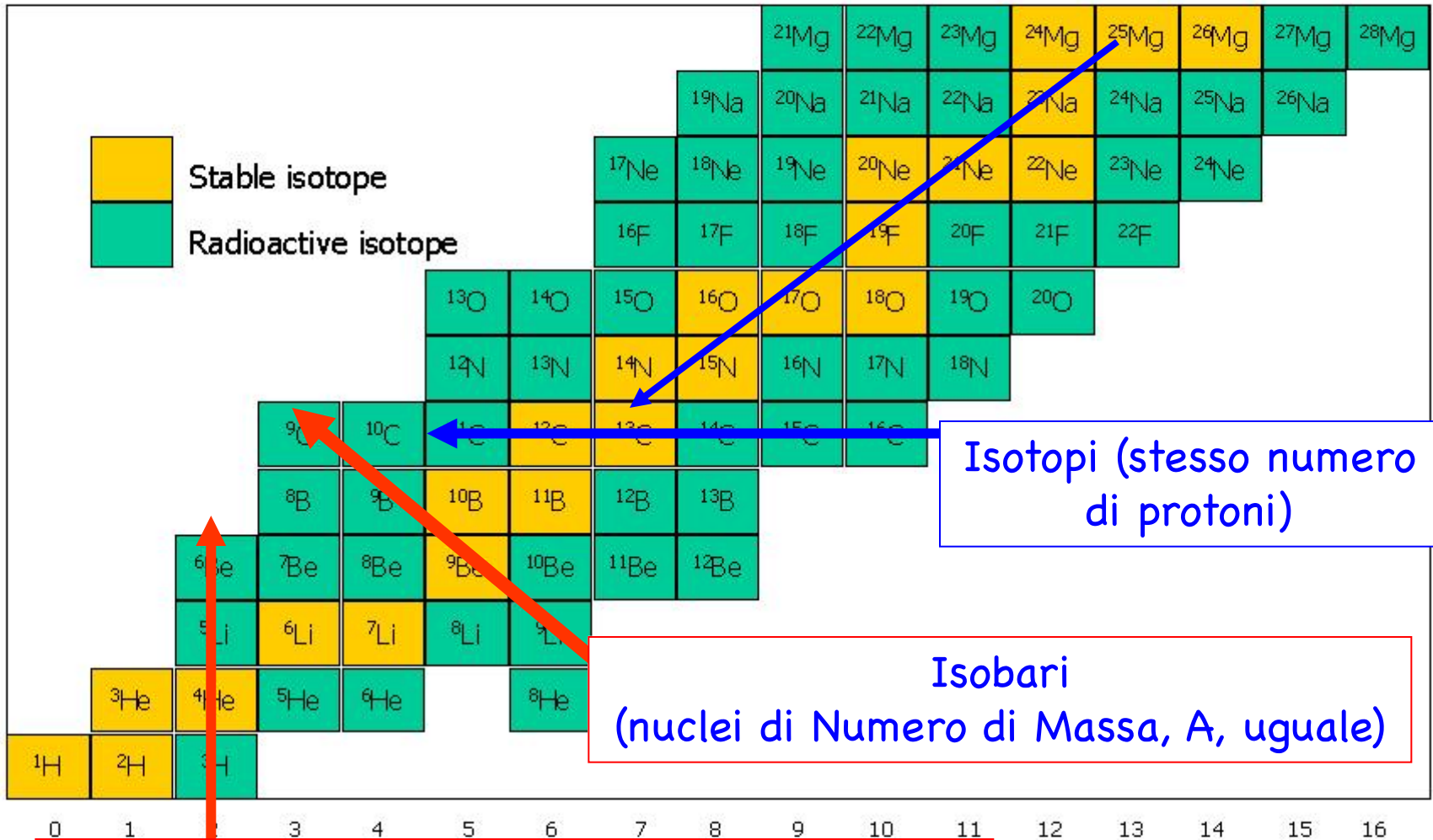


Difetto neutroni

$$Z/N \approx 1$$

Eccesso neutroni

Proton number(Z)

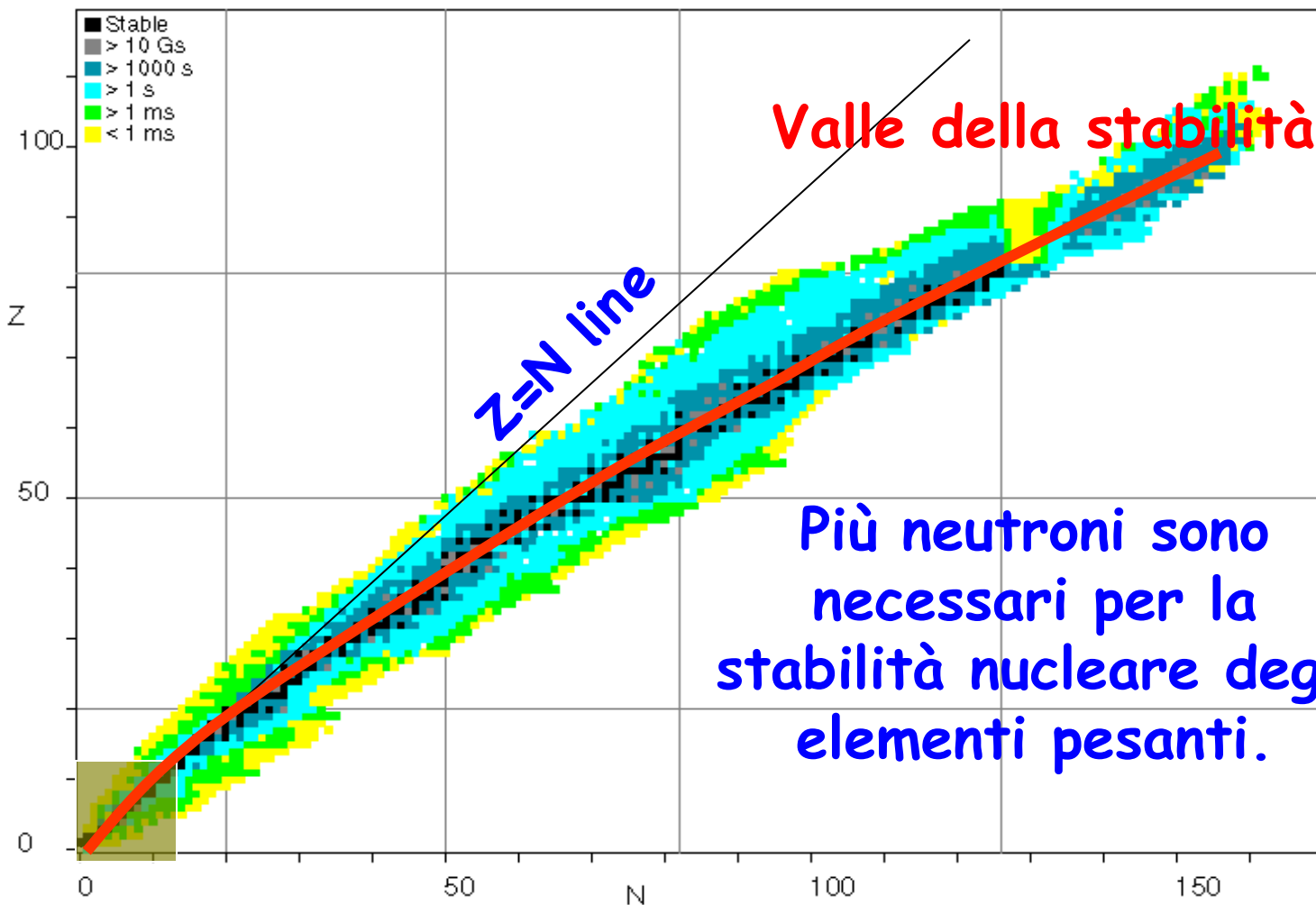


Isotopi (stesso numero di protoni)

Isobari (nuclei di Numero di Massa, A, uguale)

Isotoni (nuclei con stesso numero di neutroni)

Numero di protoni



Valle della stabilità

Z=N line

Più neutroni sono necessari per la stabilità nucleare degli elementi pesanti.

Numero di neutroni

Gli isotopi che sono lontani dalla linea di stabilità tendono ad approssimarsi a questa tramite il decadimento radioattivo!!

# ISOTOPI

Nuclidi di un elemento con differente numero di neutroni sono chiamati ISOTOPI.

Gli isotopi possono essere STABILI o INSTABILI:

- STABILI mantengono le proprietà di tutti i loro protoni e neutroni inalterati nel tempo!
- INSTABILI O RADIOATTIVI: isotopi che spontaneamente perdono o modificano le proprie particelle sub-atomiche

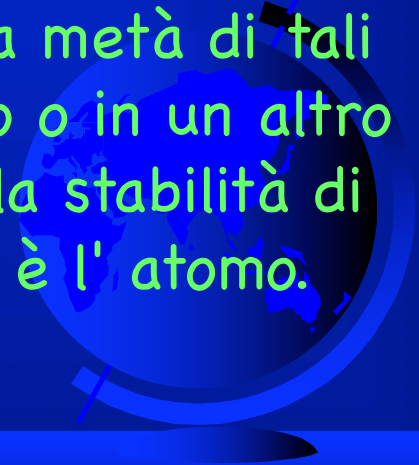


# Isotopi stabili e instabili

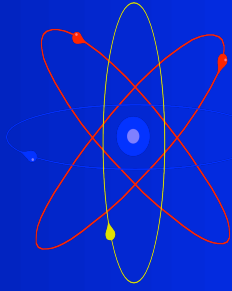
**Isotopi stabili:** Qualsiasi isotopo che non produce un prodotto di decadimento, e.g.  $^{39}\text{K}$

**Isotopi radioattivi o instabili:** Qualsiasi isotopo che produce con il tempo un prodotto di decadimento misurabile, e.g.  $^{40}\text{K}$  con tempo di dimezzamento di  $1.28 \times 10^9$  y

Il tempo di dimezzamento (o emivita) di un isotopo radioattivo si definisce come il tempo occorrente affinché la metà di tali isotopi decadano nell'isotopo di un altro elemento o in un altro isotopo dello stesso elemento. L'emivita misura la stabilità di un isotopo: più breve è l'emivita, meno stabile è l'atomo.



# Particelle nucleari



**Atomo: consiste di protoni, neutroni & elettroni**

● **Protone, massa = 1.007277 amu**

● **Neutrone, massa = 1.008665 amu**

**$1 \text{ amu} = 1.660 \times 10^{-27} \text{ kg.}$**

● **Elettrone, massa = 0.000549 amu**

**1 Atomic Mass Unit (amu) = 1/12 del  $^{12}\text{C}$**



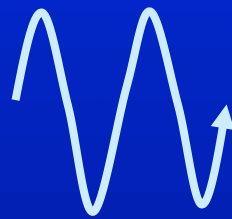


# Particelle nucleari

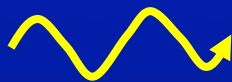
- Beta ( $\beta^-$ ), massa = 0.000549 amu
- Positrone ( $\beta^+$ ), massa = 0.000549 amu



Alfa ( $\alpha$ ), mass =  $\sim 4$  amu



$\gamma$  ray, no massa



X ray, no massa



# Classificazione delle Particelle Nucleari



alfa ( $\alpha$ ), 2p e 2n



Protone, carica +1



Elettrone, carica -1



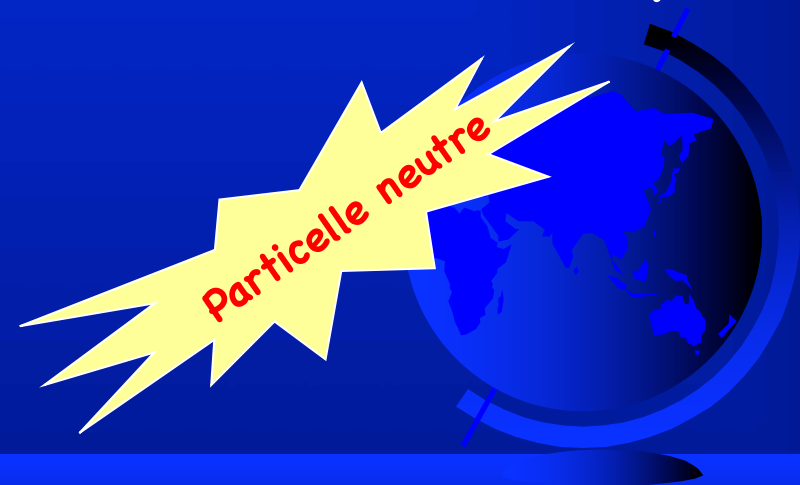
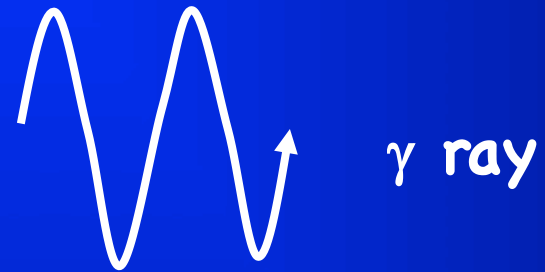
Negatroni ( $\beta^-$ ), carica -1



Positrone ( $\beta^+$ ), carica +1



Neutrone

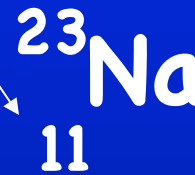
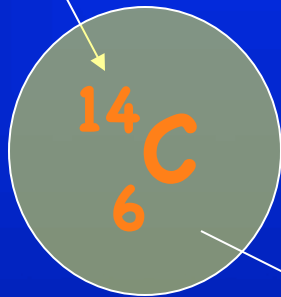


$$A = Z + N$$

Numero di  
Massa

Numero Atomico  
o di Protoni

Numero di  
Neutroni

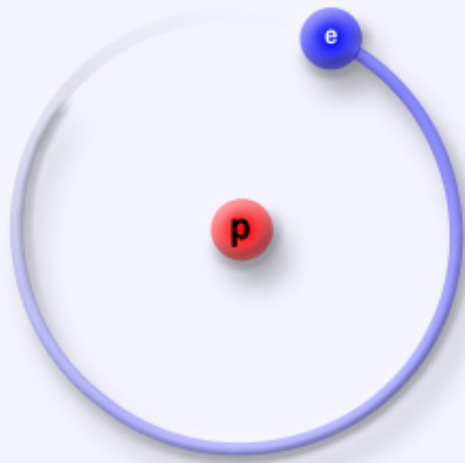


$$14 - 6 = 8$$

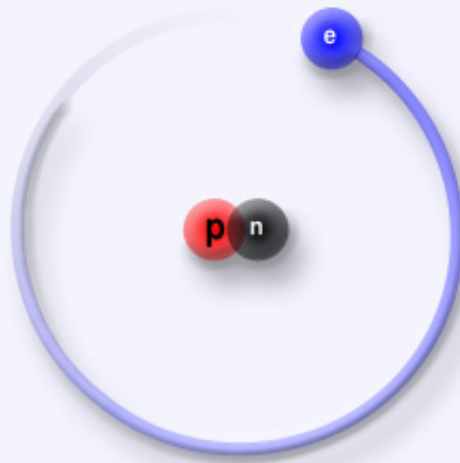
**A    Z    N**



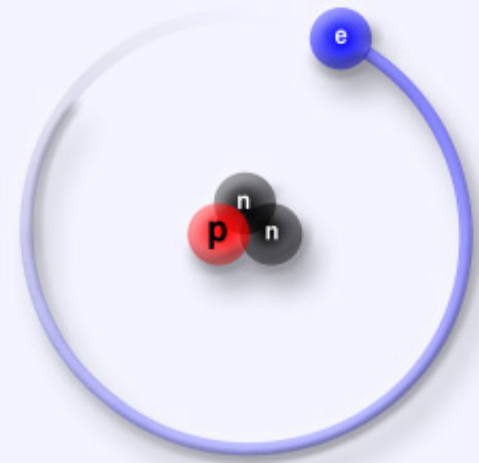
# Gli isotopi dell'IDROGENO



**Protium**



**Deuterium**

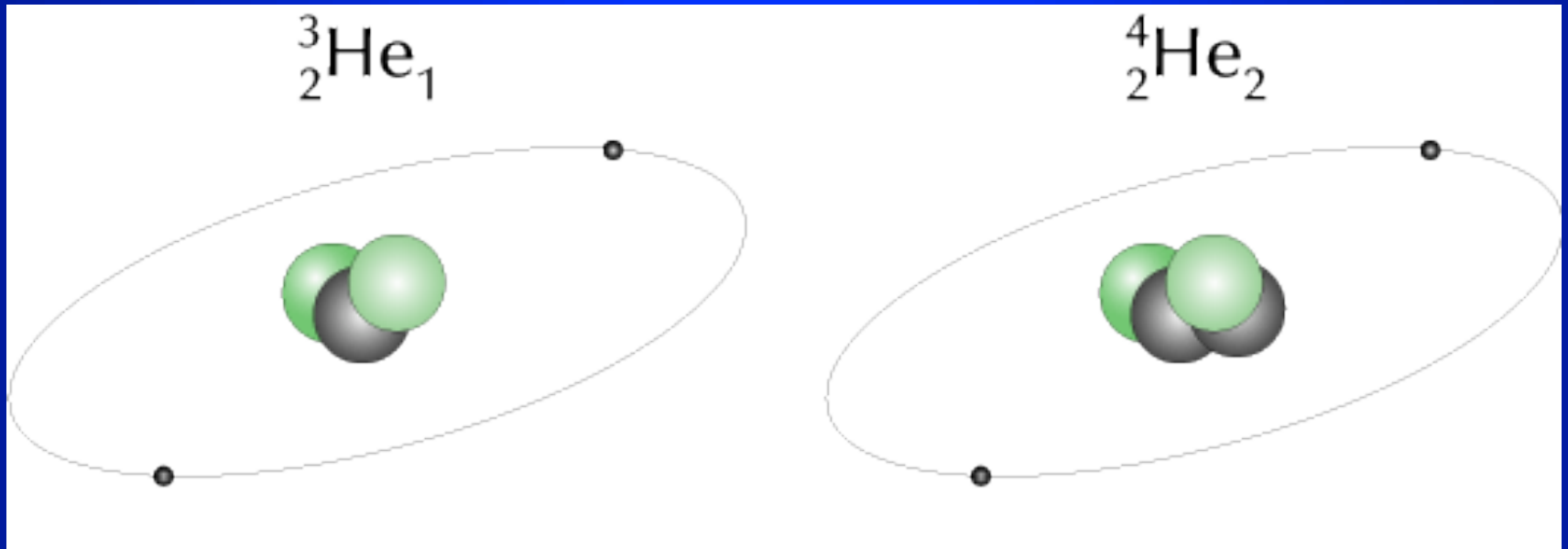


**Tritium**

Gli atomi di idrogeno contengono solamente un protone (prozio). Ognuno di questi atomi ha una massa di 1.008 amu. Esistono atomi di H che hanno sia 1 (deuterio) che 2 neutroni (trizio) oltre al singolo protone. Questi sono chiamati deuterio e trizio con masse di 2.014 e 3.016 amu

(amu: atomic mass unit riferita a  ${}^{12}_6\text{C}$  che per definizione ha 12 amu)

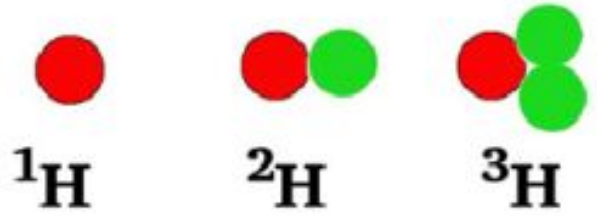
# Gli isotopi dell'ELIO



Sono due gli isotopi dell'Elio:  ${}^3_2\text{He}$  e  ${}^4_2\text{He}$ .  
Quest'ultimo ha 2 protoni e 2 neutroni, i.e.  
particella  $\alpha$ !



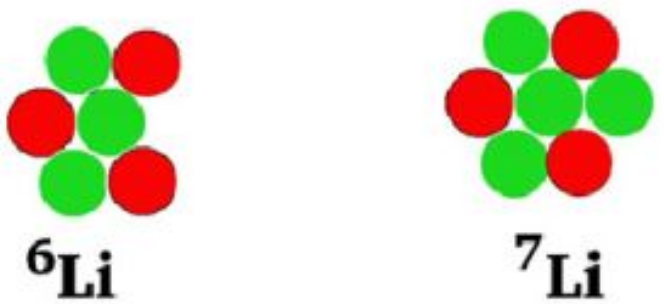
**Hydrogen**  
**1 proton**



**Helium**  
**2 protons**



**Lithium**  
**3 protons**



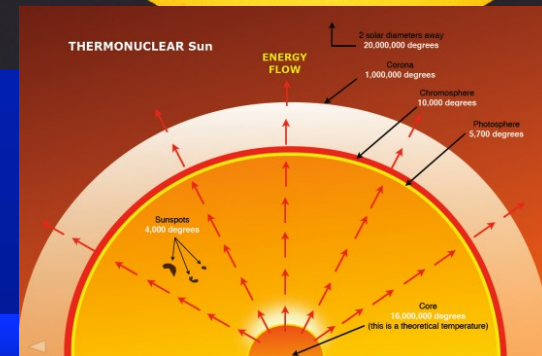
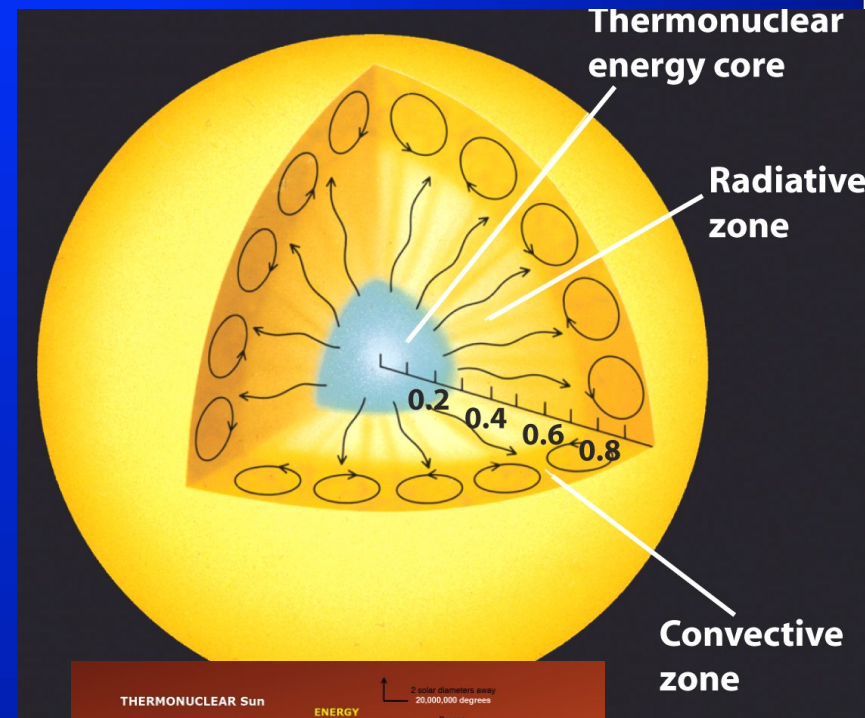
La sommatoria delle masse isotopiche in funzione della loro abbondanza darà il peso atomico

15.9994 g/mol

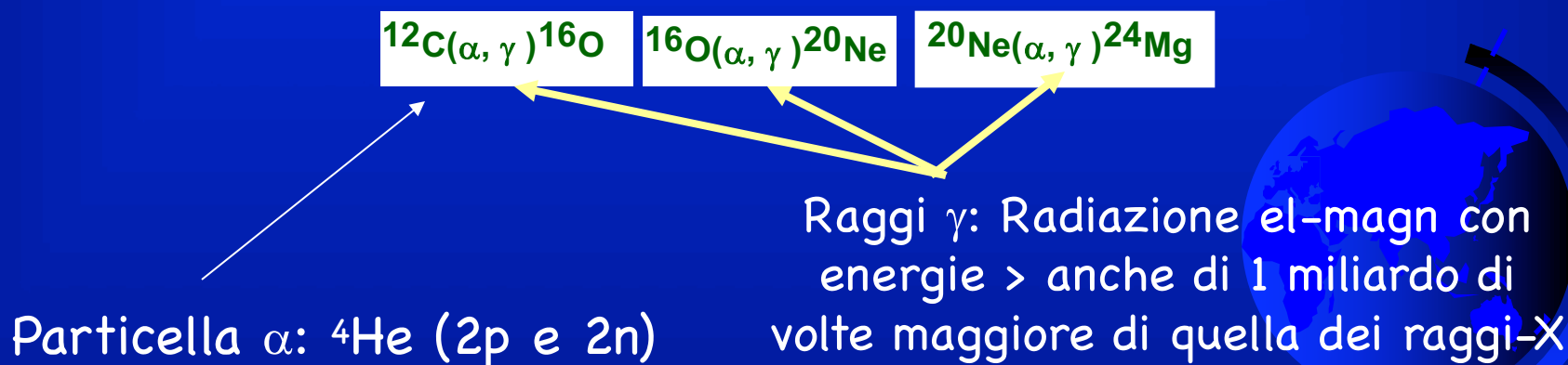
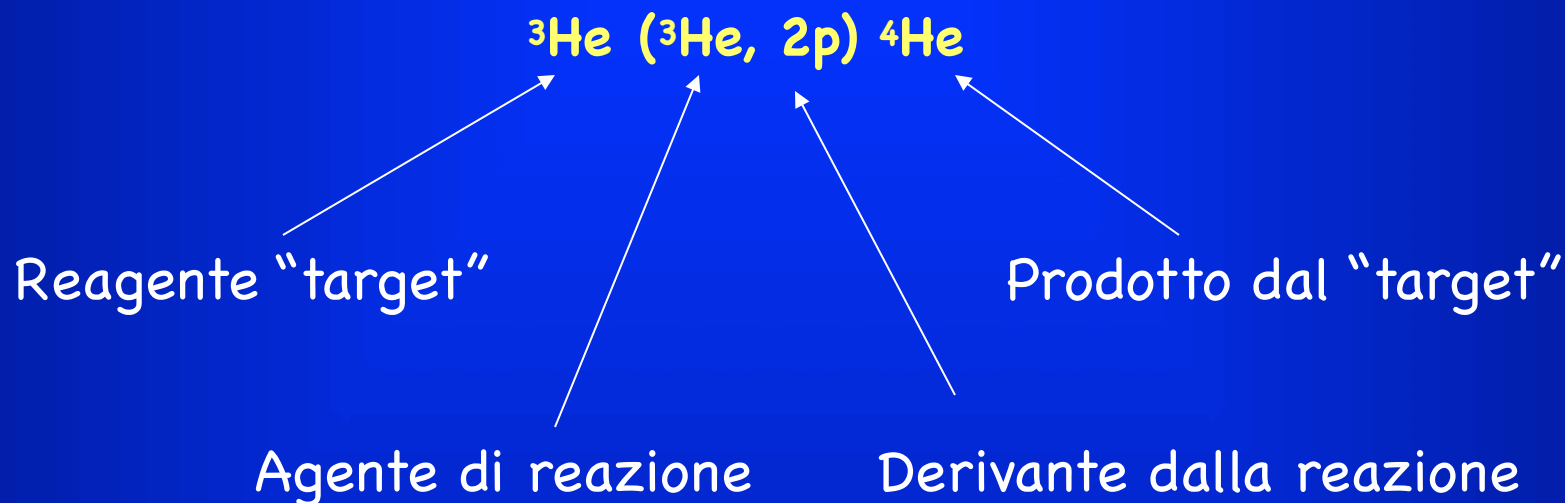
99.759%  ${}^{16}\text{O}$ ;  
 0.0374%  ${}^{17}\text{O}$ ;  
 0.2039%  ${}^{18}\text{O}$ .

# A theoretical model of the Sun shows how energy gets from its center to its surface

- ✦ Hydrogen fusion takes place in a core extending from the Sun's center to about 0.25 solar radius  
(radius: 695,500 km vs. 6378 km – Earth)
- ✦ The core is surrounded by a radiative zone extending to about 0.71 solar radius
  - In this zone, energy travels outward through radiative diffusion
- ✦ The radiative zone is surrounded by a rather opaque convective zone of gas at relatively low temperature and pressure
  - In this zone, energy travels outward primarily through convection

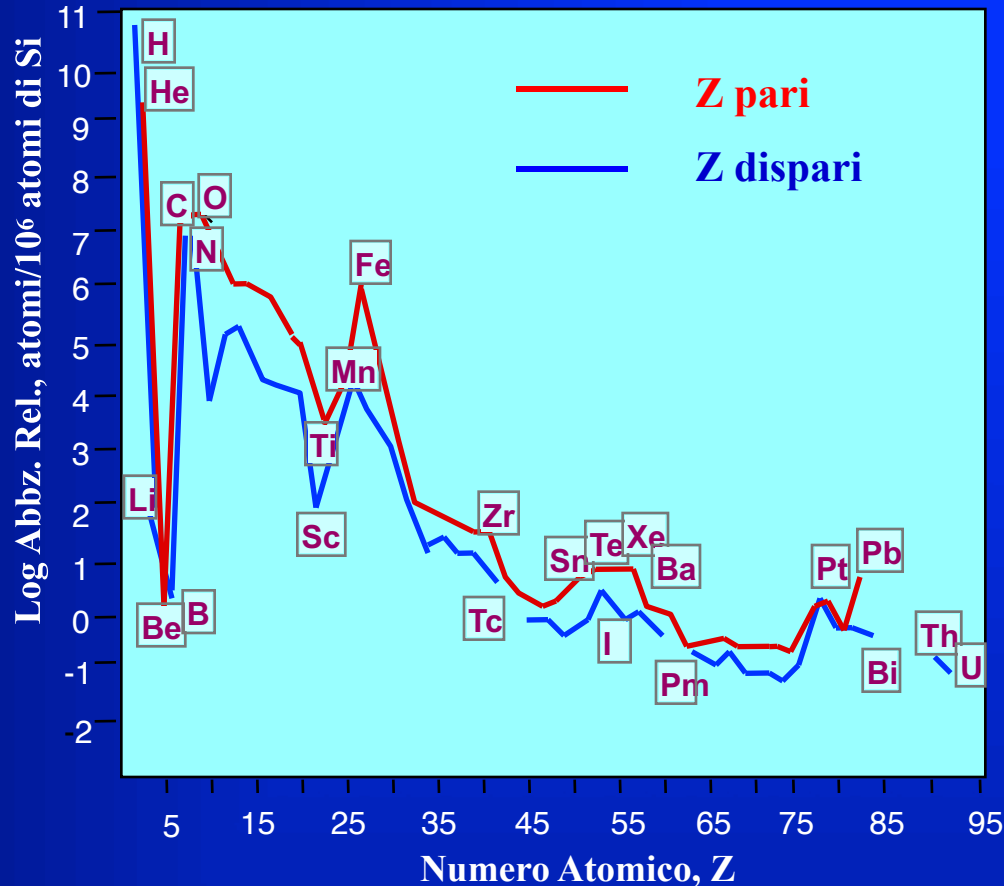


# Come si scrive e legge una reazione nucleare





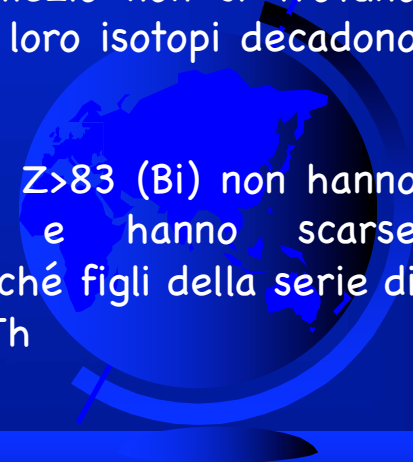
# Abbondanza ed Origine degli Elementi nel Sistema Solare

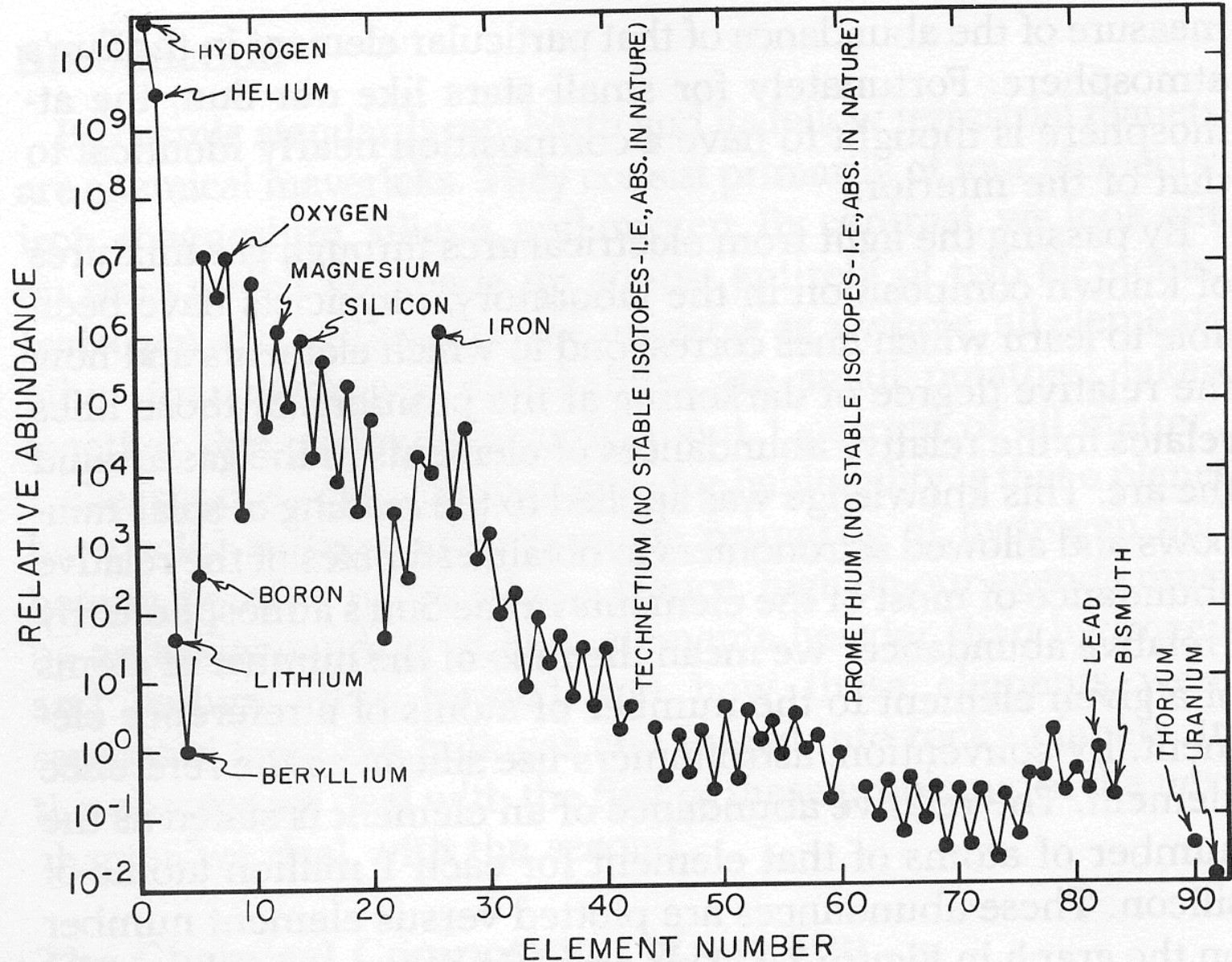


**I valori sono normalizzati a 10<sup>6</sup> atomi di Silicio**

**Come si possono spiegare queste abbondanze ed andamenti?**

- ★ H e He sono i più abbondanti: H/He=12.5
- ★ Le abbondanze dei primi 50 elementi diminuiscono esponenzialmente
- ★ Le abbondanze degli elementi con Z>50 hanno decrementi bassi o nulli
- ★ Gli elementi con numero pari sono + abbondanti di quelli con numero dispari (regola di Oddo-Harkins)
- ★ Li, Be e B sono anomalmente bassi
- ★ Fe è anomalmente + alto
- ★ Tecnezio e Promezio non si trovano nel SS poiché i loro isotopi decadono velocemente
- ★ Gli elementi con Z>83 (Bi) non hanno isotopi stabili e hanno scarse abbondanze perché figli della serie di decadimento U-Th





La composizione delle stelle si basa sull'analisi spettrale di emissione dei vari elementi.

## Hydrogen-burning

T:  $5 \cdot 10^4 - 10^7$



T = Nucleo del  
Sole:  $10 \cdot 10^6$  K;  
Superficie:  
 $5.74 \cdot 10^3$  K

## Helium-burning

T:  $1 \cdot 10^8$



## C-burning

## O-burning



## Spallation process



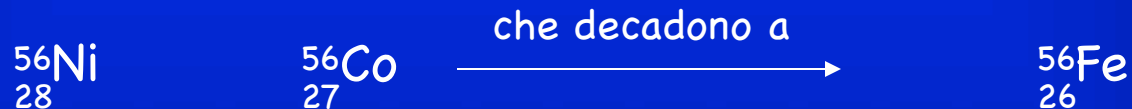
# C-Ne-O-SI-burning

O- e C-burning aumentano la T producendo foto-disintegrazione dei nuclei precedentemente formati. I p e n si saldano maggiormente originando più energia  
L'aumento di T che si crea porta alla fusione delle particelle  $\alpha$  con il carbonio:



Le repulsioni elettrostatiche tra i nuclei caricati positivamente e le particelle  $\alpha$  limitano la grandezza degli atomi che si possono formare

Gli atomi più grandi che si possono formare per addizione di particelle  $\alpha$  sono:

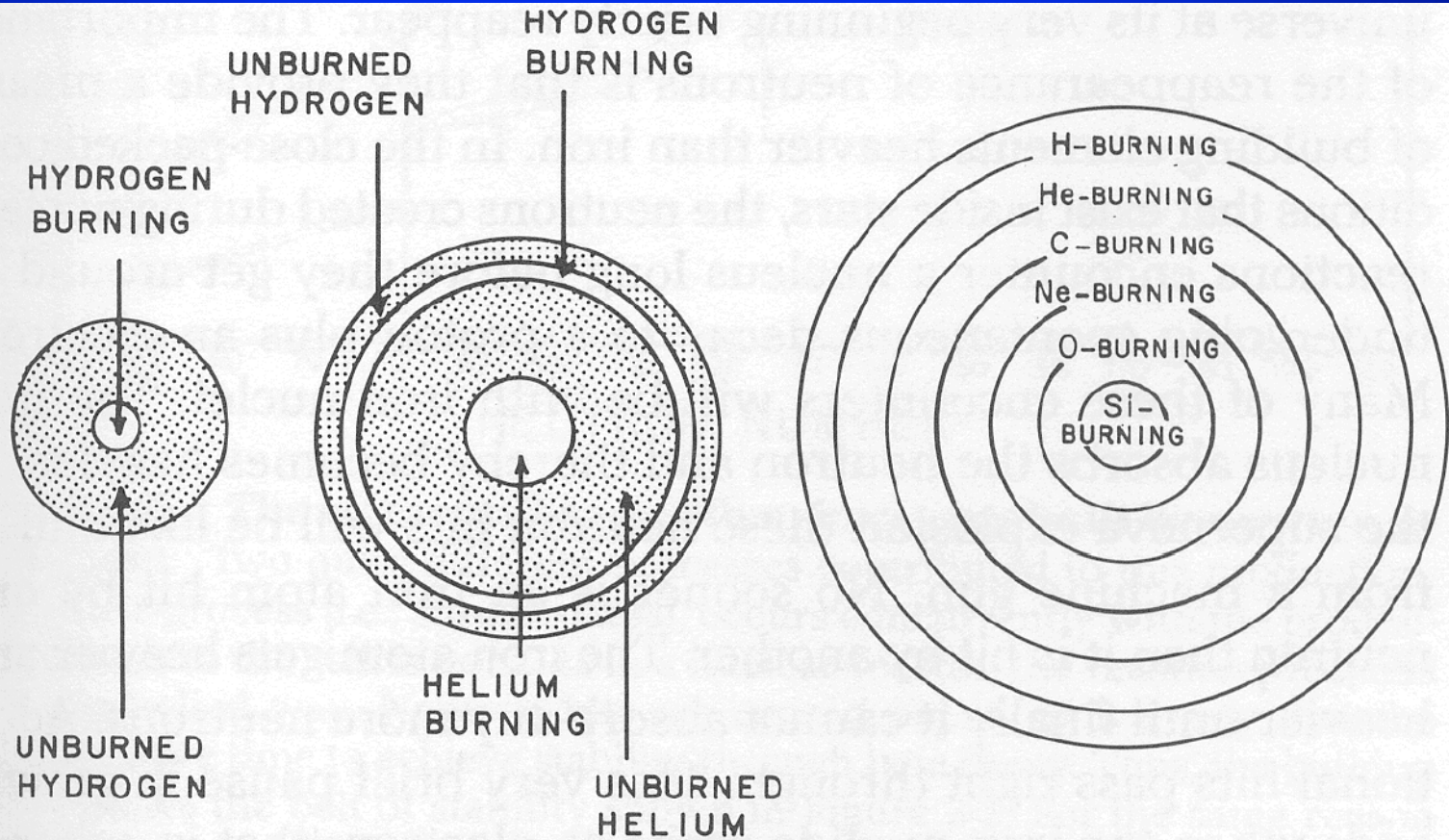


Questo spiega l'abbondanza degli elementi del gruppo del Ferro

The equilibrium process  $>10^9 \text{ K}$

In questo stadio (ultimo nell'evoluzione di una stella) si producono elementi quali, Cr, Fe, Ni, Co e Mn.  
Processi di contrazione ed implosione portano alla distruzione della stella (supernova explosion)





Name of Process	Fuel	Products	Temperature
Hydrogen-Burning	H	He	$60 \times 10^6$ K
Helium-Burning	He	C, O	$200 \times 10^6$ K
Carbon-Burning	C	O, Ne, Na, Mg	$800 \times 10^6$ K
Neon-Burning	Ne	O, Mg	$1500 \times 10^6$ K
Oxygen-Burning	O	Mg to S	$2000 \times 10^6$ K
Silicon-Burning	Mg to S	Elements near FE	$3000 \times 10^6$ K

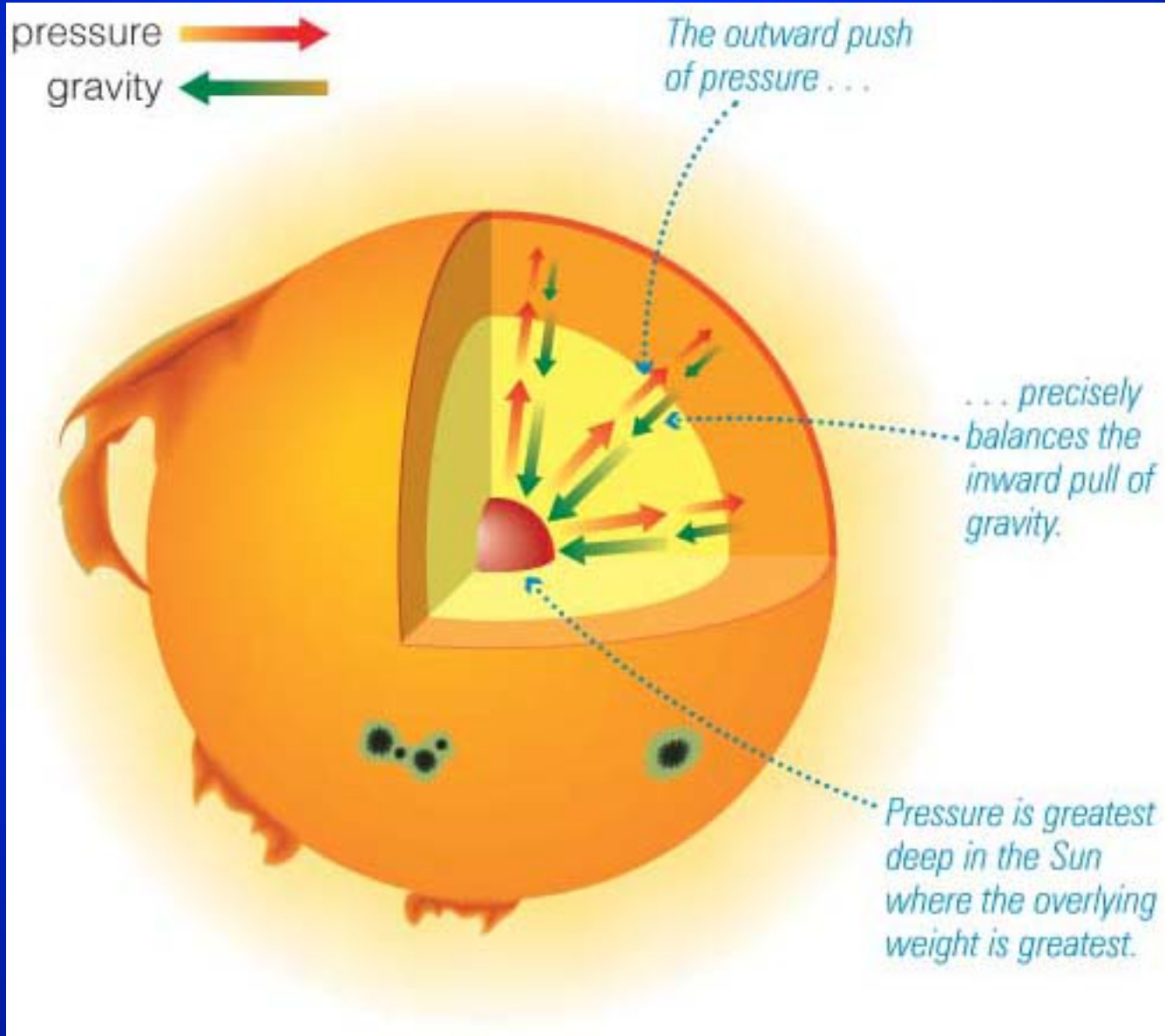


pressure →  
gravity ←

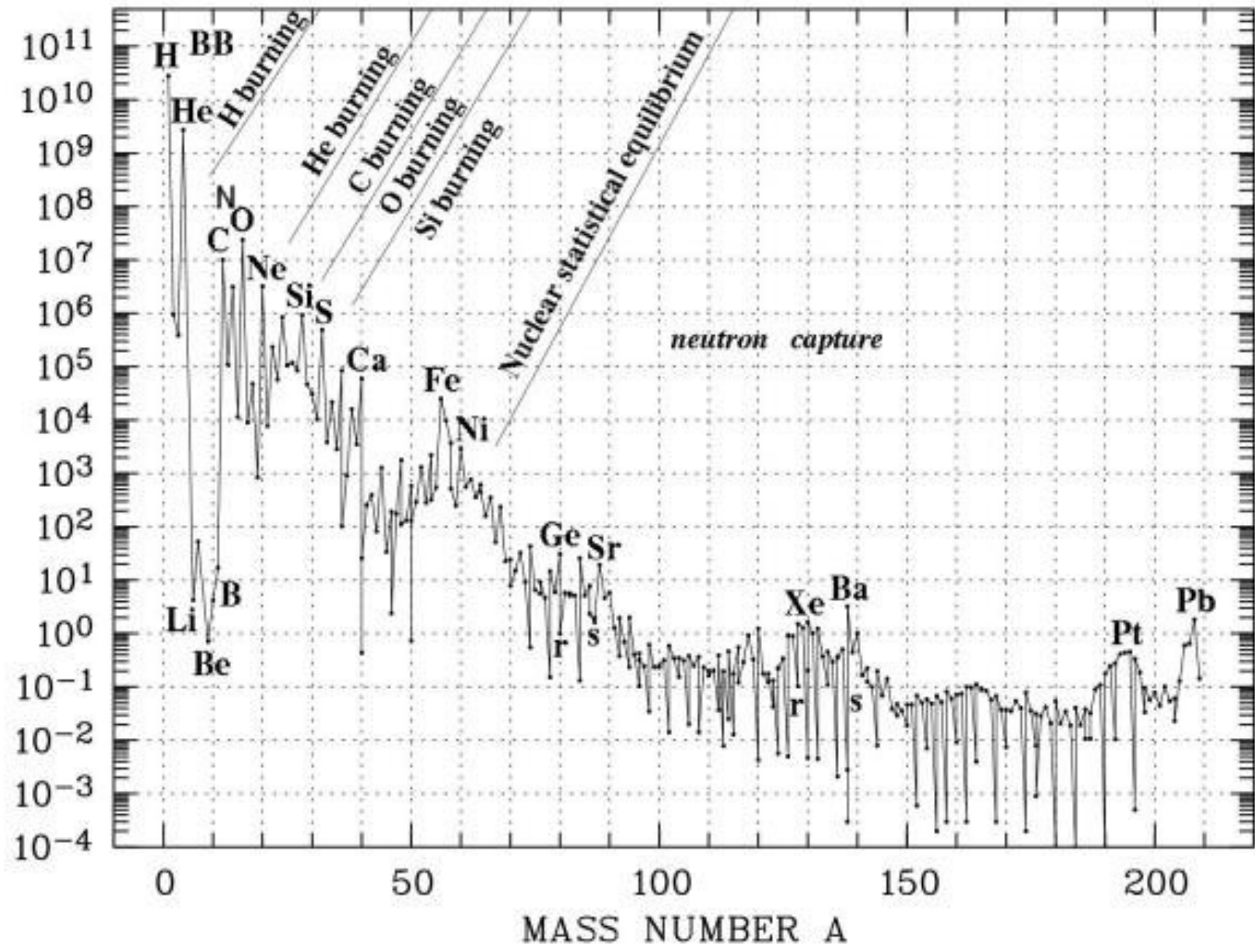
*The outward push  
of pressure . . .*

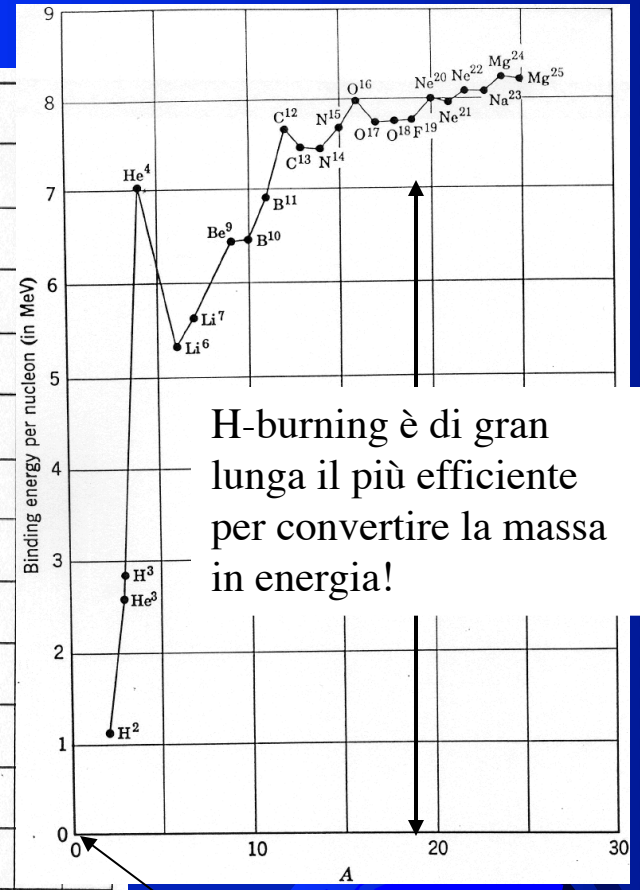
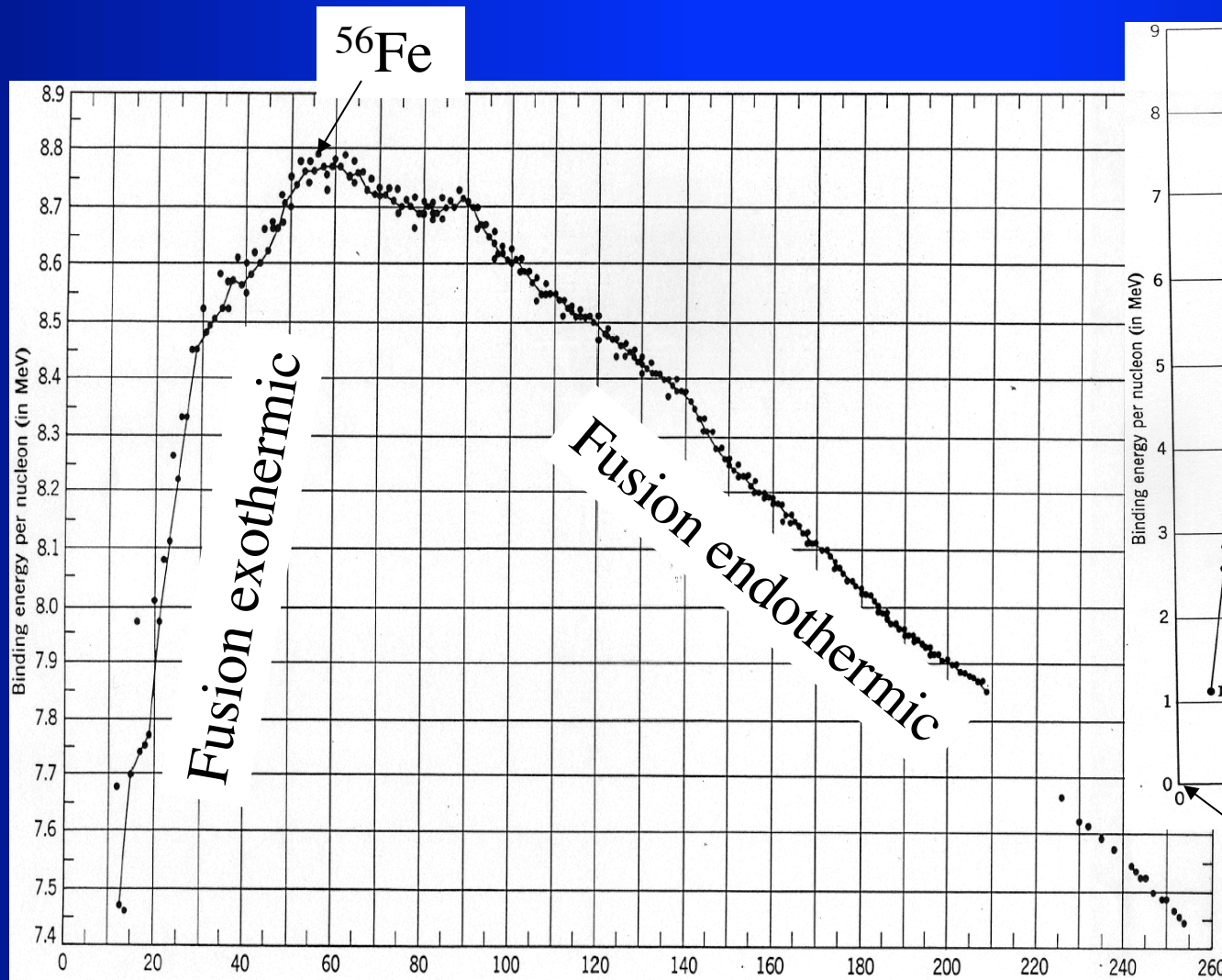
*. . . precisely  
balances the  
inward pull of  
gravity.*

*Pressure is greatest  
deep in the Sun  
where the overlying  
weight is greatest.*



ABUNDANCE RELATIVE TO SILICON =  $10^6$





H-burning è di gran lunga il più efficiente per convertire la massa in energia!



- In principio, il nuclear-burning per fusione può continuare solo fino a  $^{56}\text{Fe}$ .



## Elementi più pesanti del Ferro

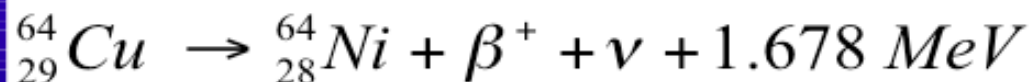
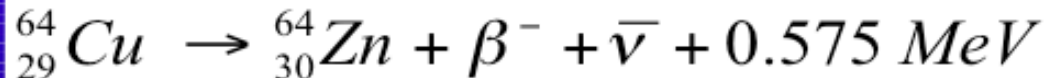
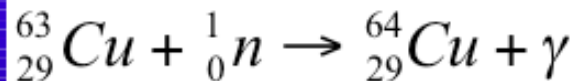
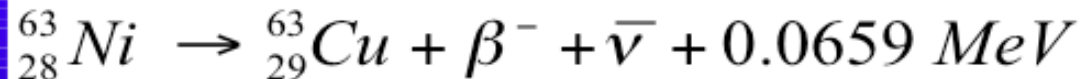
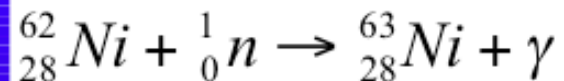
- ◆ Una volta formato Fe, *non è più possibile creare energia per fusione*
- ⇒ **Gli elementi più pesanti di Fe (numero atomico 26) non sono creati per fusione nucleare**
- ◆ Il nucleo più pesante in natura è l'Uranio (numero atomico 92). Come ci possiamo arrivare?

• Gli elementi più pesanti di Fe si creano per **neutron capture**

• Il neutrone è convertito in un protone e aggiunto al nucleo, aumentando il numero atomico per fare l'elemento successivo nella tavola periodica.

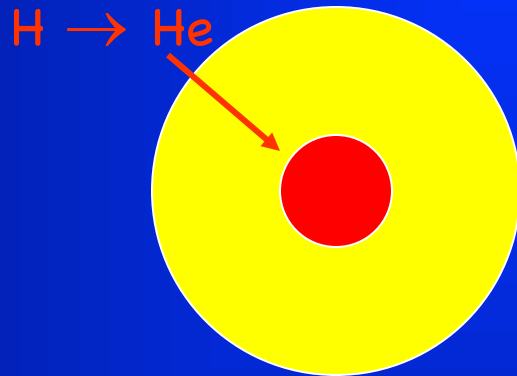
## Reazioni NEUTRON-CAPTURE

Durante gli stadi finali dell'evoluzione di una gigante rossa, le reazioni neutron-capture producono atomi con  $Z > 26$  (Fe). Il seguente esempio rappresenta lo slow process o *s*-process.



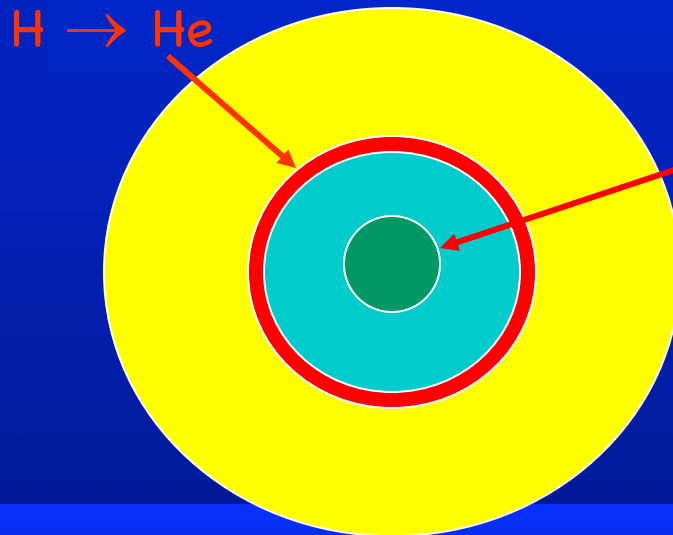
# The Life "Clock" of a Massive Star ( $> 8 M_{\text{sun}}$ )

Let's compress a massive star's life into one day...



Life on the Main Sequence

+ Expansion to Red Giant: 22 h, 24 min.



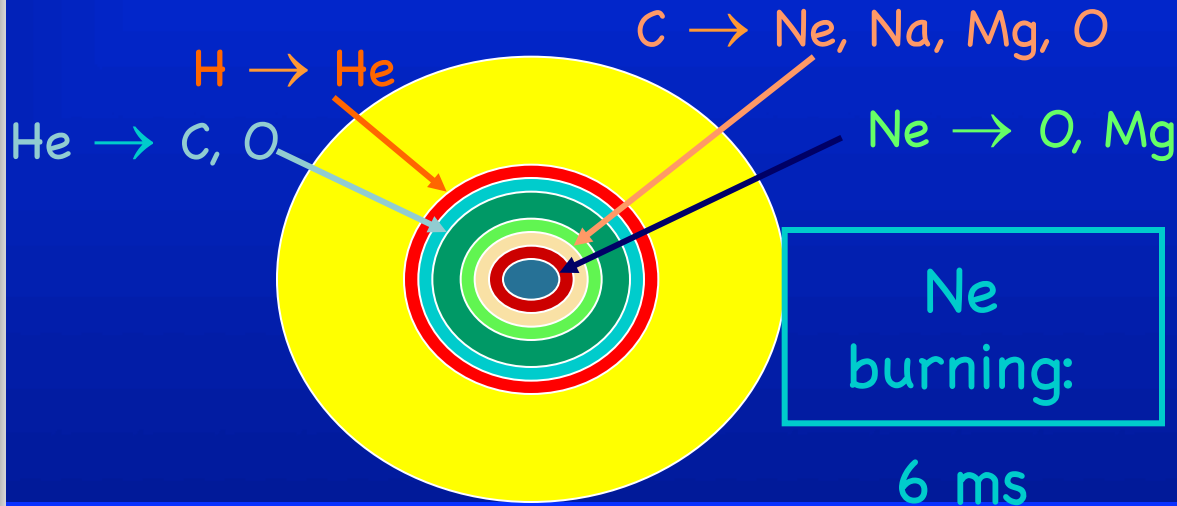
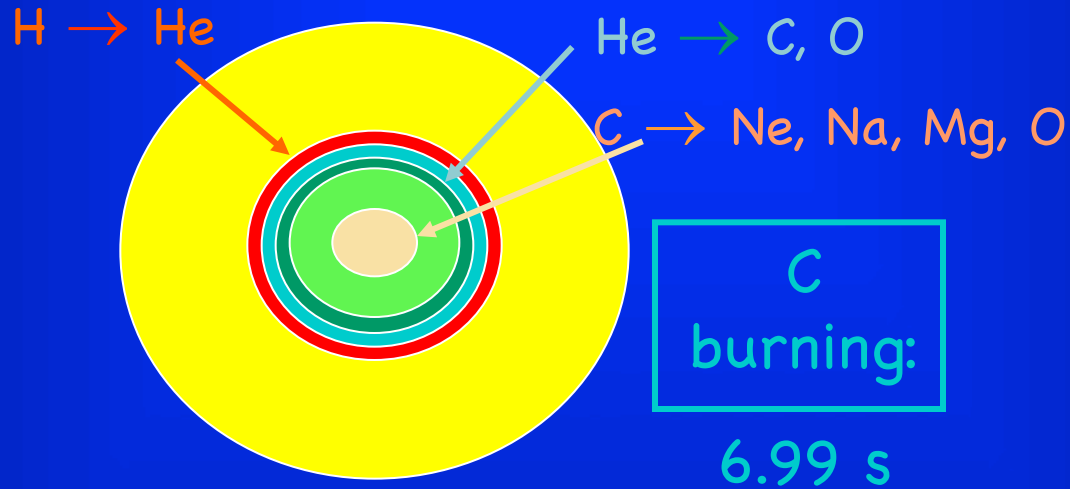
H burning

He → C, O

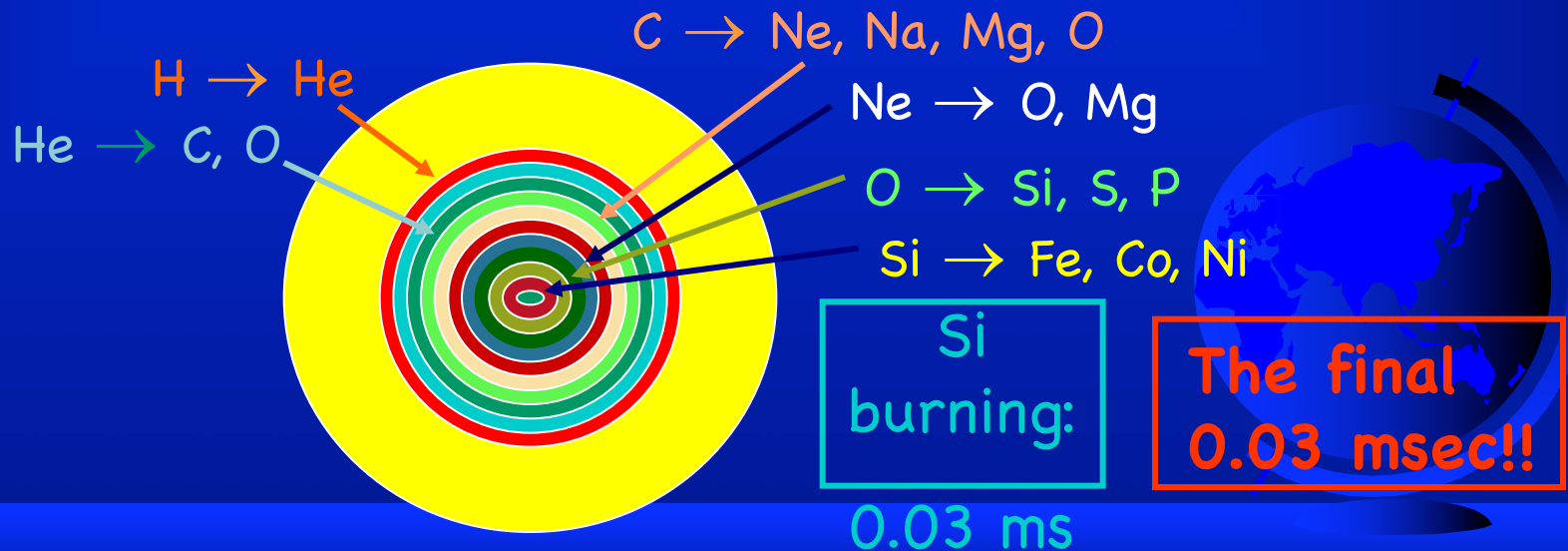
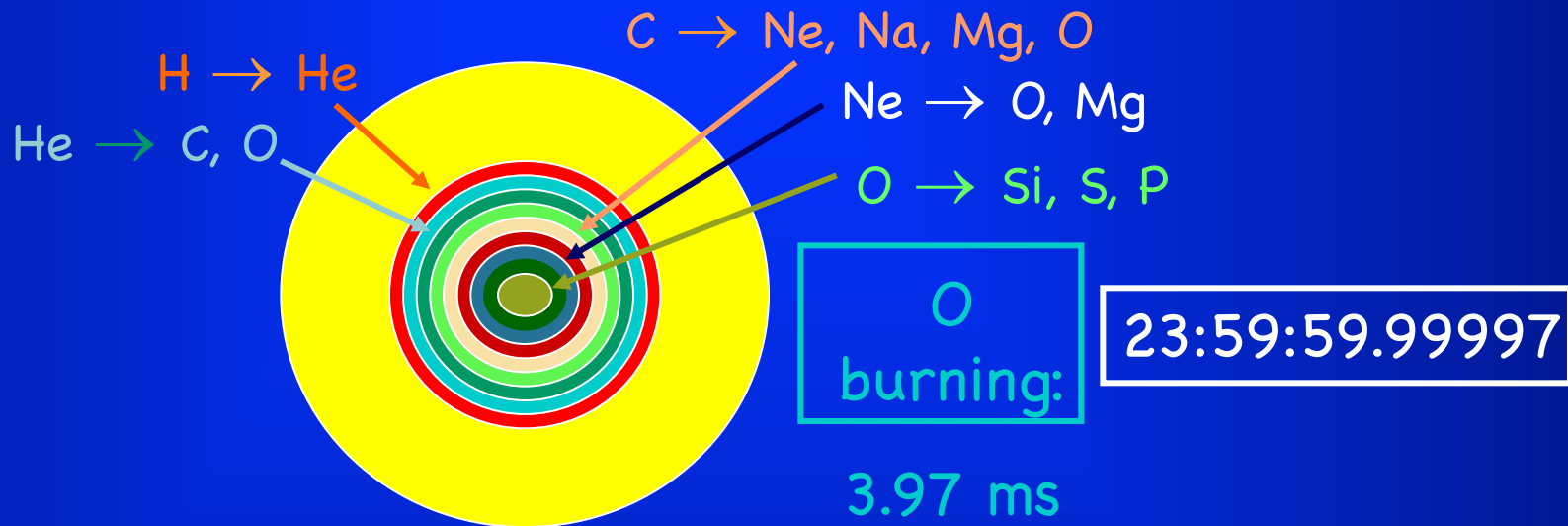
He burning:  
(Red Giant Phase) 1 h, 35 min, 53 s



# The Life "Clock" of a Massive Star



# The Life "Clock" of a Massive Star



Nonostante tutti i processi di nucleosintesi che sono avvenuti sin dalla formazione dell'Universo, solamente il 2% della materia ordinaria è presente come elementi pesanti. La maggior parte è ancora rappresentata da idrogeno ed elio.

