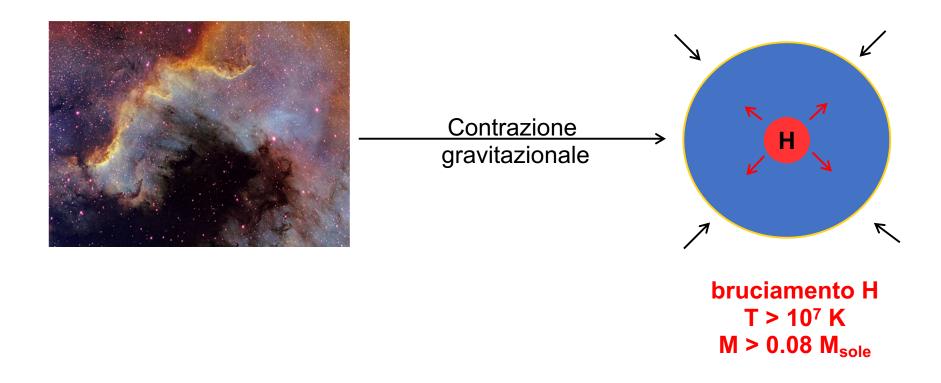
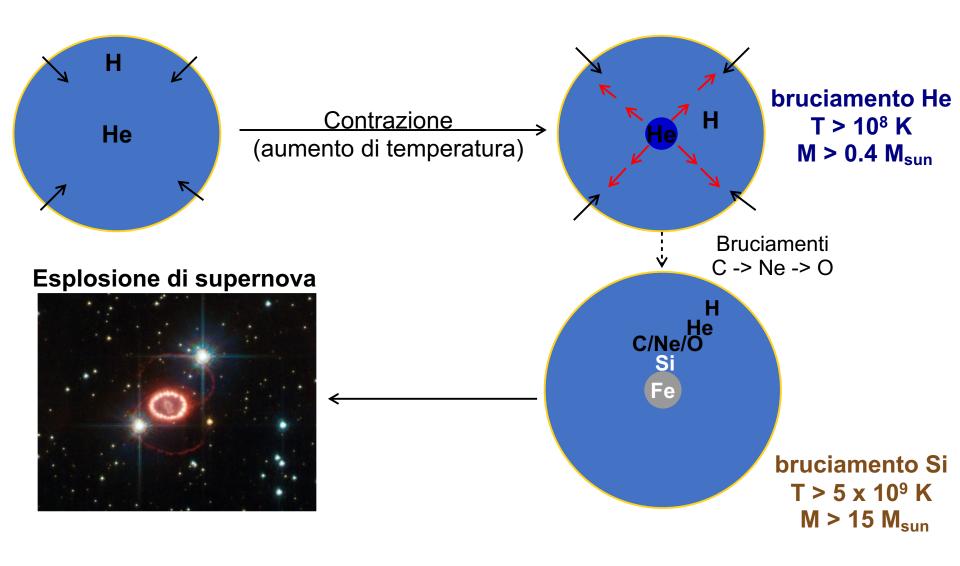
## **EVOLUZIONE STELLARE**

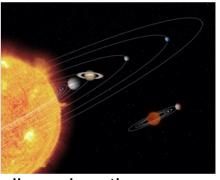


### **EVOLUZIONE STELLARE**

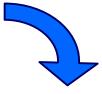


## **EVOLUZIONE STELLARE**



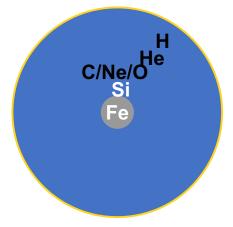


Formazione di stelle e pianeti a partire da una nube di gas









Produzione elementi ed espulsione nel mezzo interstellare

# Reviews of Modern Physics 1957 Synthesis of the Elements in Stars\*

E. Margaret Burbidge, G. R. Burbidge, William A. Fowler, and F. Hoyle

Kellogg Radiation` Laboratory, California Institute of Technology, and Mount Wilson and Palomar Observatories, Carnegie Institution of Washington, California Institute of Technology, Pasadena, California

"It is the stars, The stars above us, govern our conditions";

(King Lear, Act IV, Scene 3)

#### but perhaps

"The fault, dear Brutus, is not in our stars, But in ourselves,"
(Julius Caesar, Act I, Scene 2)



**1920 Aston:** M(He) < 4 M(H)

**Eddington:** conversione 4 H → He come sorgente di energia per le stelle ...T troppo bassa per superare la barriera Coulombiana!

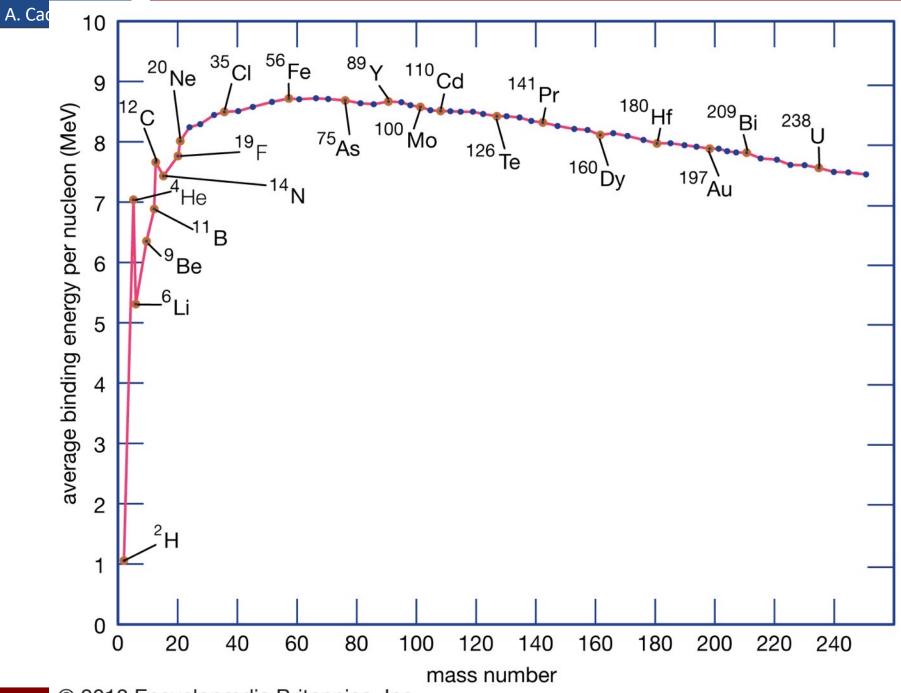
1928 Gamow: probabilità effetto tunnel

1936 - 1938 Atkinson - Bethe and Critchfield: catena pp

1938 - 1939 Weizsacker - Bethe: Ciclo CNO

1946 Hoyle: teoria della nucleosintesi nell'evoluzione stellare

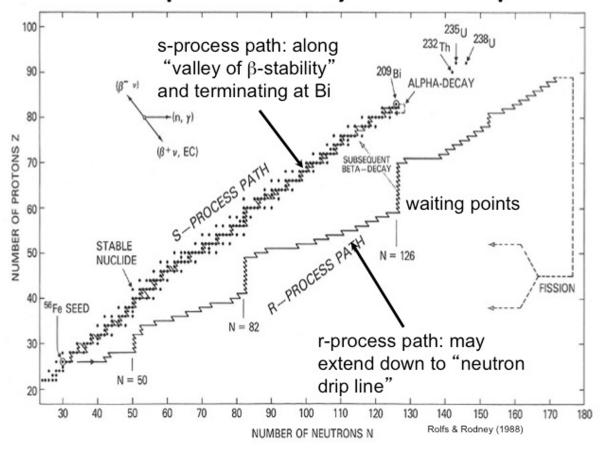
**1952 Merril:** scoperta del  $^{98}$ Tc ( $T_{1/2} = 4.2 \times 10^6$  anni) nelle stelle, dimostrazione di nucleosintesi recente

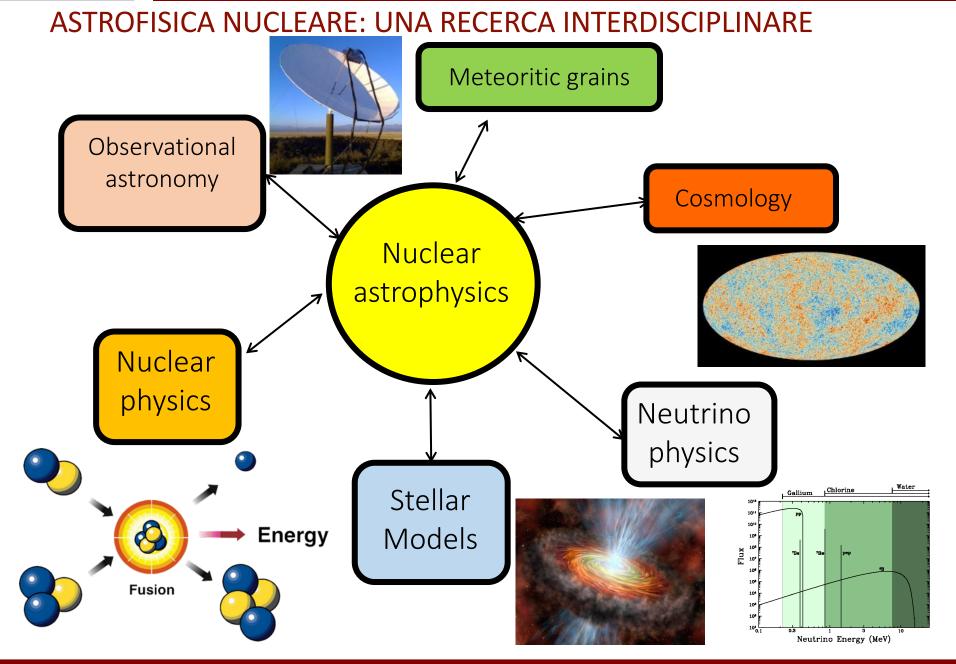


### PROCESSO S E PROCESSO R

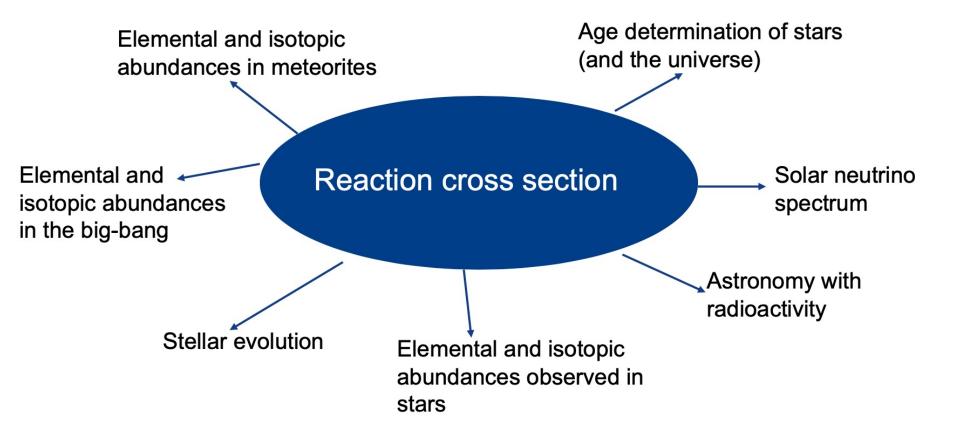
Gli elementi più pesanti del ferro sono formati tramite processi di cattura di neutroni chiamati processi s (slow) e r (rapid)

# *r*- and *s*-process synthesis paths





# LA SEZIONE D'URTO: UNA QUANTITÀ FONDAMENTALE



### DALLE STELLE ALLE STALLE ... INSOMMA ANDIAMO IN LABORATORIO

Temperatura nel Sole:  $T = 1.5 \cdot 10^7$  K,  $KT \sim 1$  keV << Ecoul = 0.5 - 2 MeV

VS

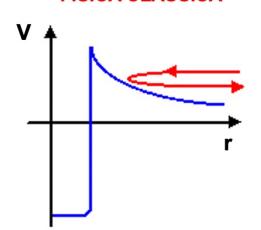


Energia cinetica (Maxwell - Boltzmann)

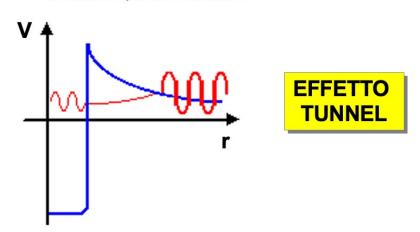
Barriera Coulombiana

$$\frac{1}{2}m\langle v^2\rangle = \frac{3}{2}kT \sim keV \iff E_c = \frac{Z_1Z_2e^2}{R} \sim MeV$$

#### **FISICA CLASSICA**



### **FISICA QUANTISTICA**



$$\sigma = \frac{N_{\text{reazioni}} / t}{N_{\text{proiettili}} / t N_{\text{bersagli}} / A}$$

**ACCELERATORE** 

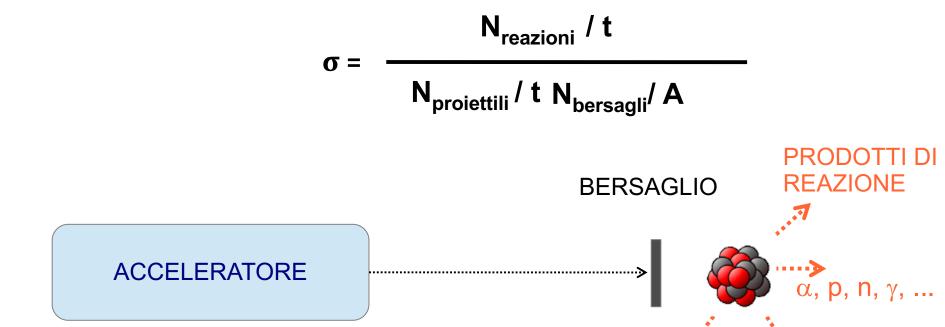
- → Fascio molto intenso
- → Buona risoluzione energetica

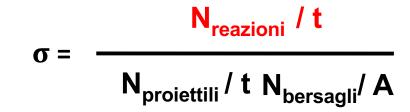
$$\sigma = \frac{N_{\text{reazioni}} / t}{N_{\text{proiettili}} / t N_{\text{bersagli}} / A}$$

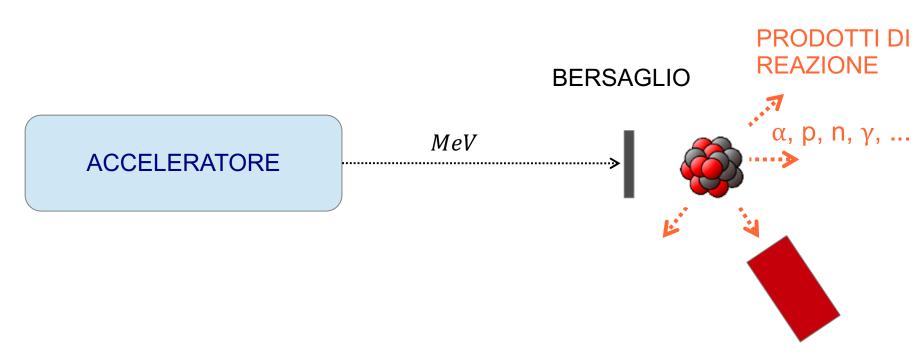
**BERSAGLIO** 

ACCELERATORE

→ Elevata densità e purezza







**RIVELATORE** 

→ Alta efficienza

### REAZIONI NUCLEARI ALLE ENERGIE DELLE STELLE

Temperatura nel Sole:  $T = 1.5 \cdot 10^7$  K,  $KT \sim 1$  keV << Ecoul = 0.5 - 2 MeV



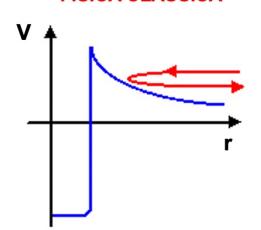
Energia cinetica (Maxwell - Boltzmann)

$$\frac{1}{2}m\langle v^2\rangle = \frac{3}{2}kT \sim keV \iff E_c = \frac{Z_1Z_2e^2}{R} \sim MeV$$

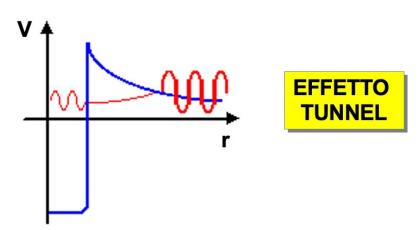
VS Barriera Coulombiana

$$E_c = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{R} \sim MeV$$

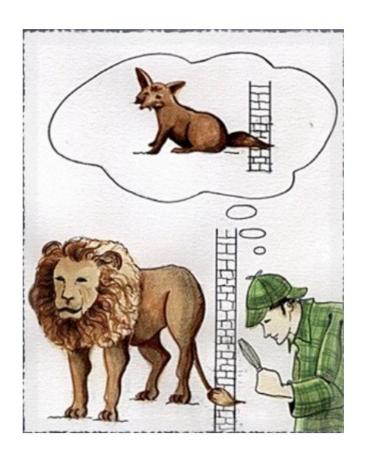
#### **FISICA CLASSICA**

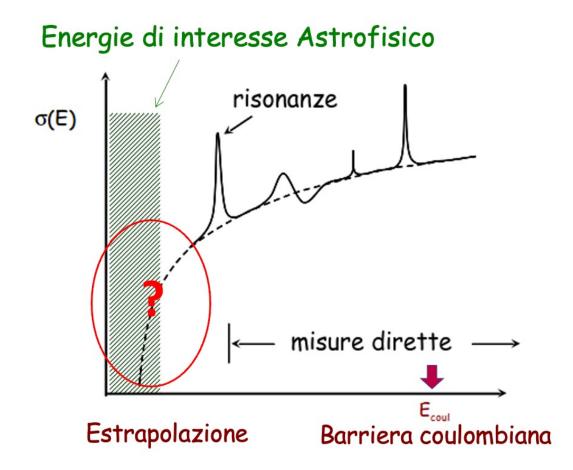


### **FISICA QUANTISTICA**



# La sezione d'urto diminuisce esponenzialmente con l'energia. σ ≤ nano-barn (1barn = 10<sup>-24</sup> cm²)





### ARGH ... IL BACKGROUND!

In ogni esperimento il sistema di rivelatori utilizzato vedrà sia la radiazione emessa dalla reazione che si sta studiando sia la radiazione dovuta all'ambiente in cui è posto l'esperimento!

In aggiunta ... utilizzando un acceleratore possiamo inviare il fascio su superfici in cui ci sono elementi su cui si possono creare reazioni non volute che possono creare un disturbo nel sistema di rivelazione

## IL BACKGROUND AMBIENTALE

# IL BACKGROUND AMBIENTALE: RADIOATTIVITÀ IN NATURA

L'ambiente in cui viviamo tutti i giorni è naturalmente radioattivo!

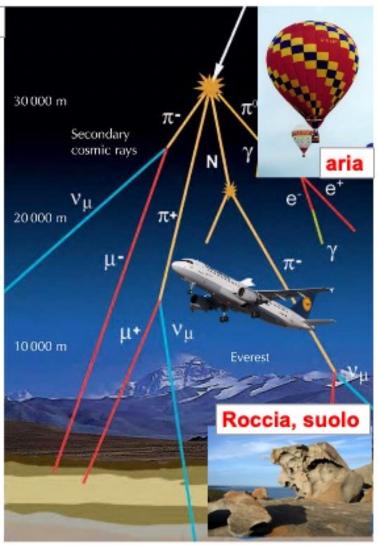


Gli esseri umani contaminano l'ambiente e generano sorgenti artificiali di radioattività.



Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less.

Marie Curie



### **RADIONUCLIDI**

# La radioattività naturale si può classificare secondo l' origine in due categorie generali:

- Primordiale – esistente già prima della creazione della Terra

Nuclide	Tempo di dimezzamento	Abbondanza isotopica naturale
235 <b>U</b>	7.04 x 10 <sup>8</sup> yr	0.7% dell' uranio totale
238U	4.47 x 10 <sup>9</sup> yr	99.3% dell' uranio totale
<sup>232</sup> Th	1.41 x 10 <sup>10</sup> yr	100% del torio totale
<sup>40</sup> K	1.28 x 10 <sup>9</sup> yr	0.012% del potassio totale
<sup>87</sup> Rb	4.75 x 10 <sup>10</sup> yr	27.8% del rubidio totale

### - Cosmogenico – formata dai raggi cosmici provenienti dallo spazio

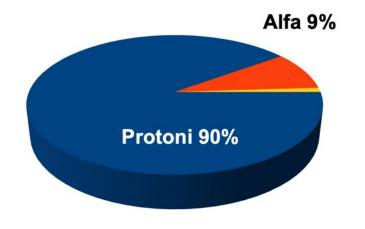
Nuclide	Tempo di dimezzamento	Sorgente
<sup>14</sup> C	5730 yr	$^{14}N(n,p)^{14}C$
<sup>3</sup> H	12.3 yr	Cosmic-ray interactions with N and O, <sup>6</sup> Li(n, α) <sup>3</sup> H
<sup>7</sup> Be	53.28 days	Cosmic-ray interactions with N and O

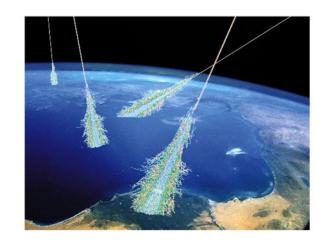
### I RAGGI COSMICI

La Terra è continuamente bombardata da **raggi cosmici**, particelle subatomiche provenienti dallo spazio che viaggiano ad altissima velocità

I raggi cosmici sono composti da:

Elettroni + elementi pesanti (Li ... Ni) 1%



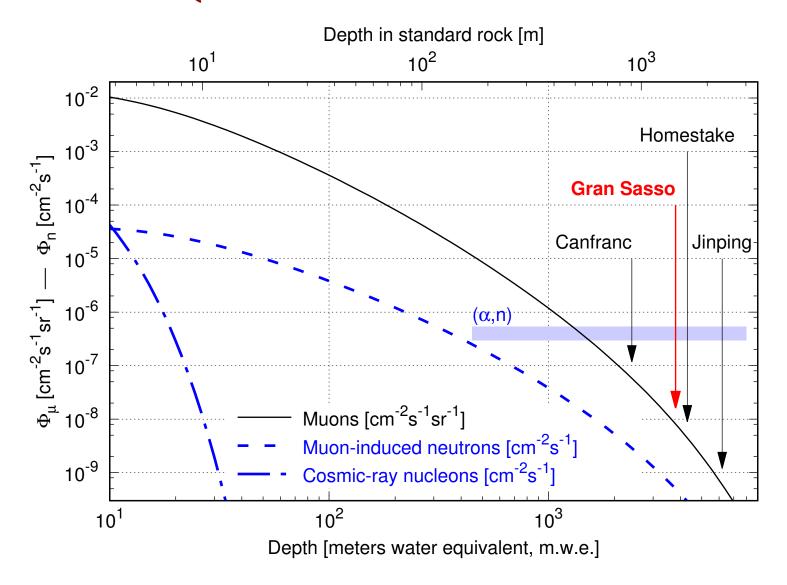


Quando i raggi cosmici colpiscono la parte alta dell'atmosfera, interagiscono con gli atomi dell'aria e generano uno sciame di particelle secondarie più leggere e di minore energia

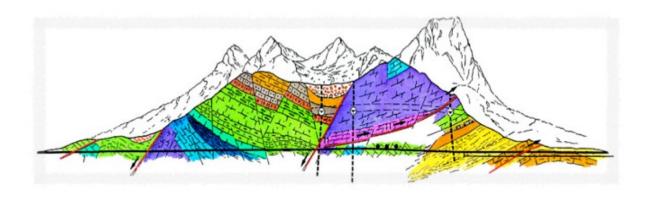




## COME RIDURRE QUESTO FONDO? - LABORATORI SOTTERRANEI



### LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO





- 1400 m rock overburden (=3800 m.w.e.)
- Flux attenuation: n 10-3

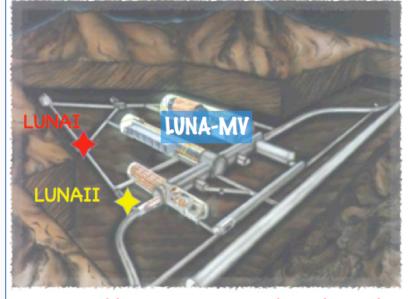
$$\mu \, 10^{-6}$$

- underground area 18000 m<sup>2</sup>
  - support facilities on the surface

https://www.lngs.infn.it/en

Currently 1100 scientists from 29 different Countries are taking part in the experimental activities of LNGS

LNGS research activities range from neutrino physics to dark matter search, to nuclear astrophysics, and also to earth physics, biology and fundamental physics



https://www.pd.infn.it/eng/luna/

# "Some people are so crazy that they actually venture into deep mines to observe the stars in the sky"

De origine animalium – Aristotele



Nuclei in the Cosmos I / 1990 / Baden/Vienna, Austria

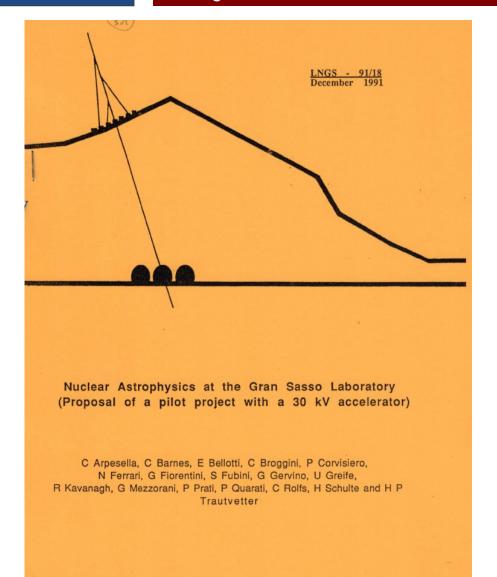
Why are we not going into the Gran Sasso?





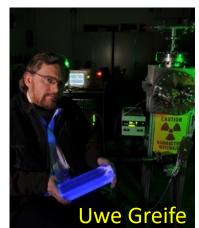


### Underground measurements

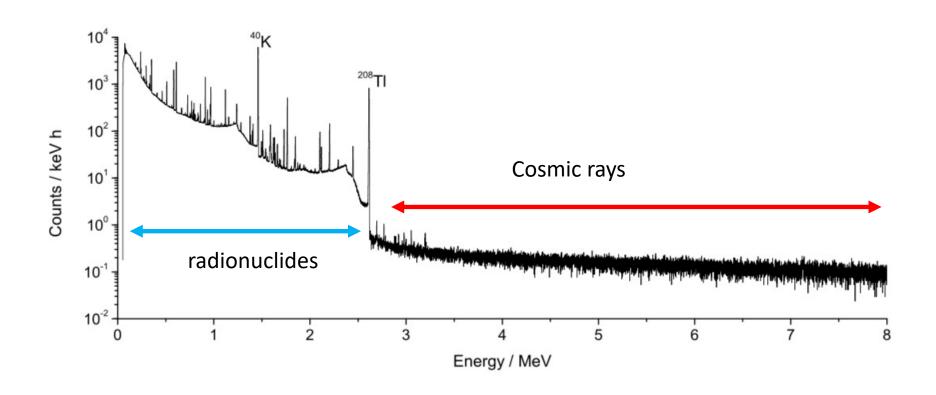


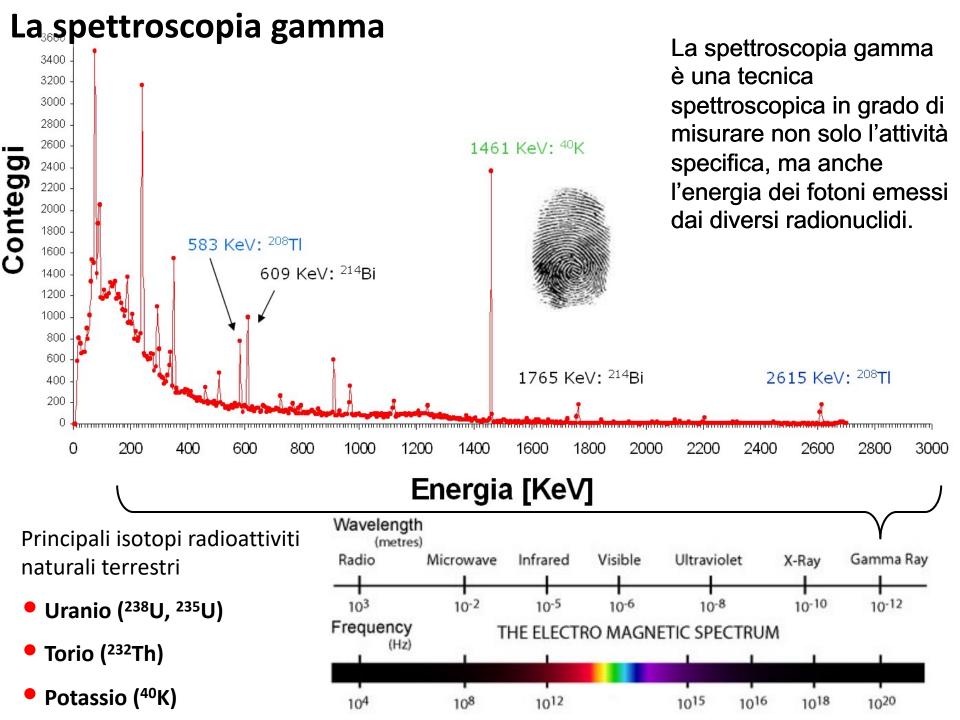


Matthias Junker

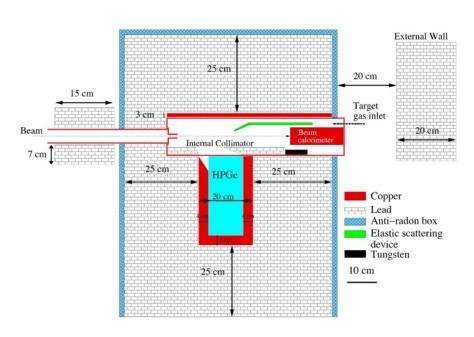


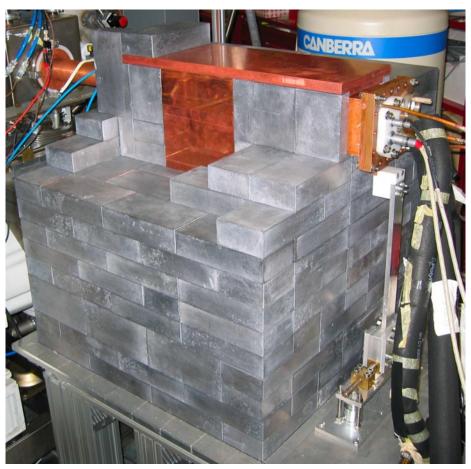
# E PER I RADIONUCLIDI?



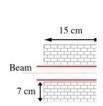


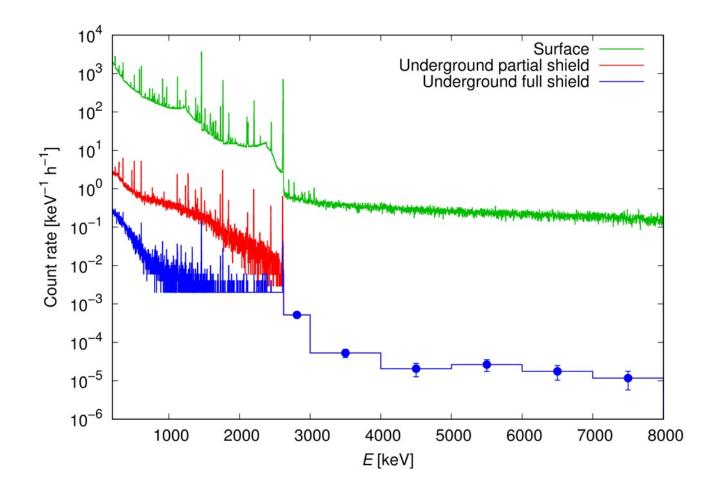
## **UNA SCHERMATURA EFFICACE**





## UNA SCHERMATURA EFFICACE







### LA SEZIONE D'URTO DEFINIZIONE

$$\sigma \equiv \frac{\text{(number of interactions per time)}}{\text{(number of incident particles per area per time)} \text{(number of target nuclei within the beam)}}$$

Ma noi in laboratorio misuriamo cosa?

Prendiamo una reazione del CNO: la  $^{12}$ C+p ->  $^{13}$ N + raggi gamma ---  $^{12}$ C(p, $\gamma$ ) $^{13}$ N Noi misuriamo il raggio gamma prodotto dalla reazione

Il numero di reazioni dipende da quanto è buono il sistema di rivelazione per vedere tutti i raggi gamma prodotti durante l'esperimento (efficienza)

$$Y \equiv \frac{numero\;totale\;di\;reazioni\;nucleari\;prodotte}{numero\;totale\;di\;protoni\;incidenti} = \frac{N_R}{N_p} = \frac{N_{counts}}{N_b\varepsilon}$$

Passare dalla Yield alla sezione d'urto non è banale ma in laboratorio proveremo a contare il numero di problemi che potremmo avere nel farlo