

# PROGETTO PCTO ASTROFISICA NUCLEARE 2022-23

Prima Lezione: 9 Novembre 2022

Seconda Lezione: 7 Dicembre 2022

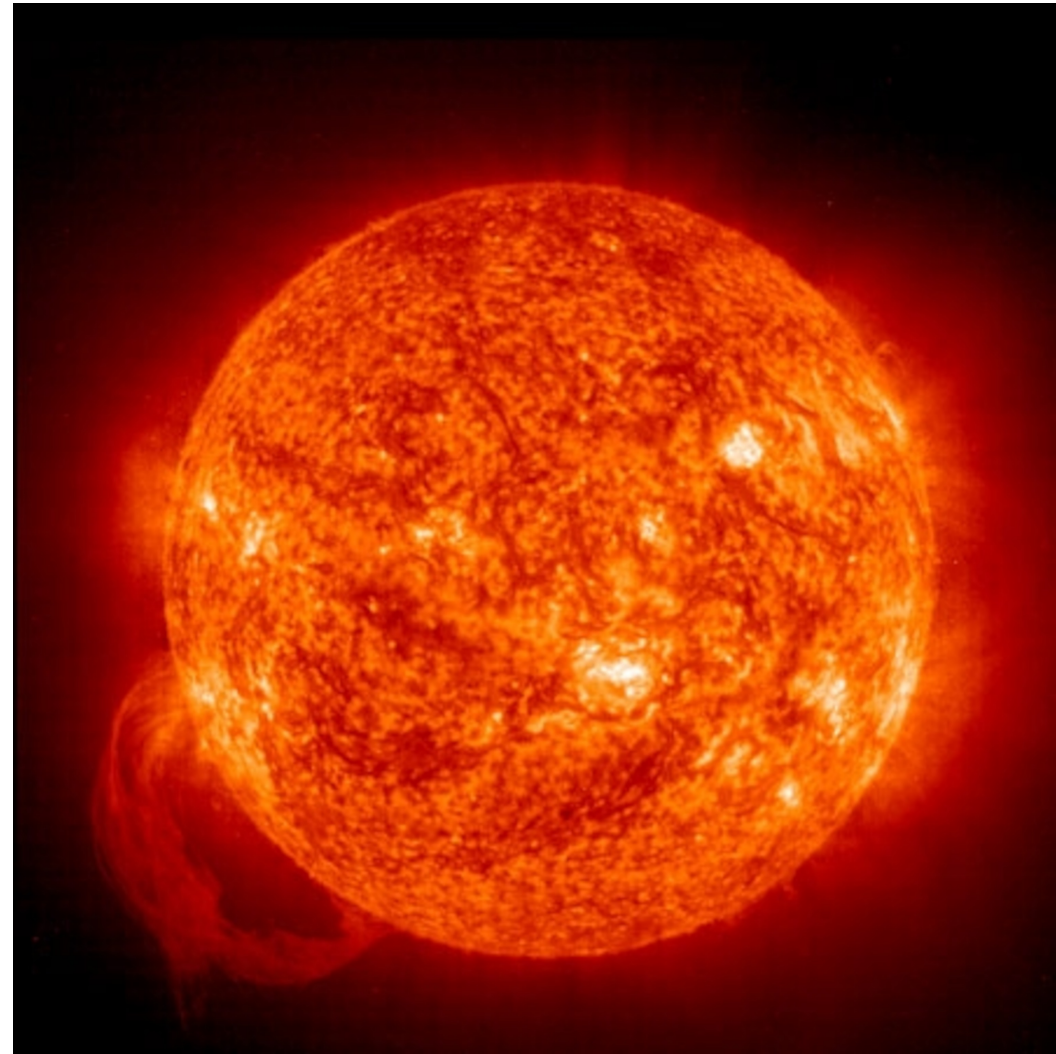
Laboratorio: 23 Gennaio 2022 ore 15.00 - 17.00

Aula Informatica LabP104

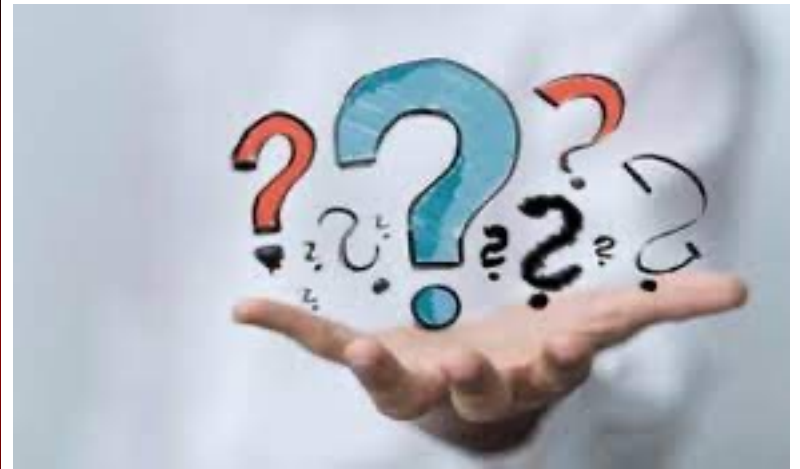
Complesso Paolotti - via Belzoni 6 - Padova



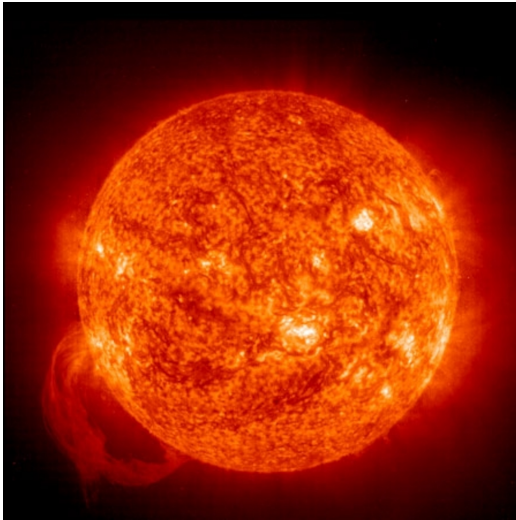
# QUANTO È VECCHIO IL SOLE?



Credit: National Geographic



## QUANTO È VECCHIO IL SOLE?



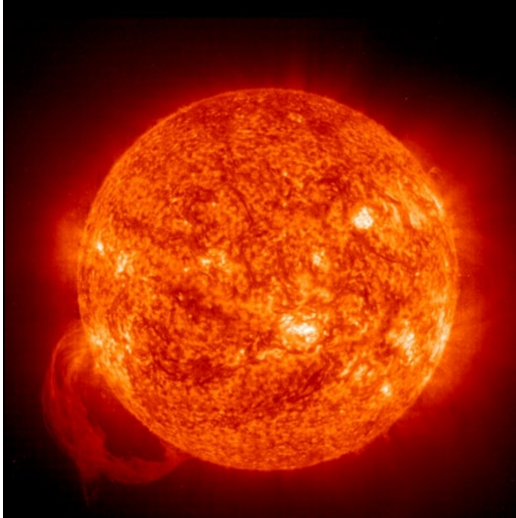
1847: Robert Julius von Mayer: Il Sole riscaldato dalla caduta delle meteore

1854: Hermann von Helmholtz: Energia gravitazionale della nebula protosolare si trasforma in energia cinetica di meteore

Intorno al 1850: William Thompson (Lord Kelvin): Sole creato alla formazione dalla caduta di un meteorite, adesso una mass incandescente e liquida che si sta raffreddando

1859: Charles Darwin «Origine delle specie»: Il rate di erosione della «Weald valley» è 1 inch/secolo che porta ad una età della Terra di almeno 300 milioni di anni

## QUANTO È VECCHIO IL SOLE?



1868: scoperta dell'Elío nello spettro solare

1881 e 1895 osservazione di Elío sulla Terra

1847: Robert Julius von Mayer: Il Sole riscaldato dalla caduta delle meteore

1854: Hermann von Helmholtz: Energia gravitazionale della nebula protosolare si trasforma in energia cinetica di meteore

Intorno al 1850: William Thompson (Lord Kelvin): Sole creato alla formazione dalla caduta di un meteorite, adesso una mass incandescente e liquida che si sta raffreddando

1859: Charles Darwin «Origine delle specie»: Il rate di erosione della «Weald valley» è 1 inch/secolo che porta ad una età della Terra di almeno 300 milioni di anni

## COM'È FATTO IL SOLE

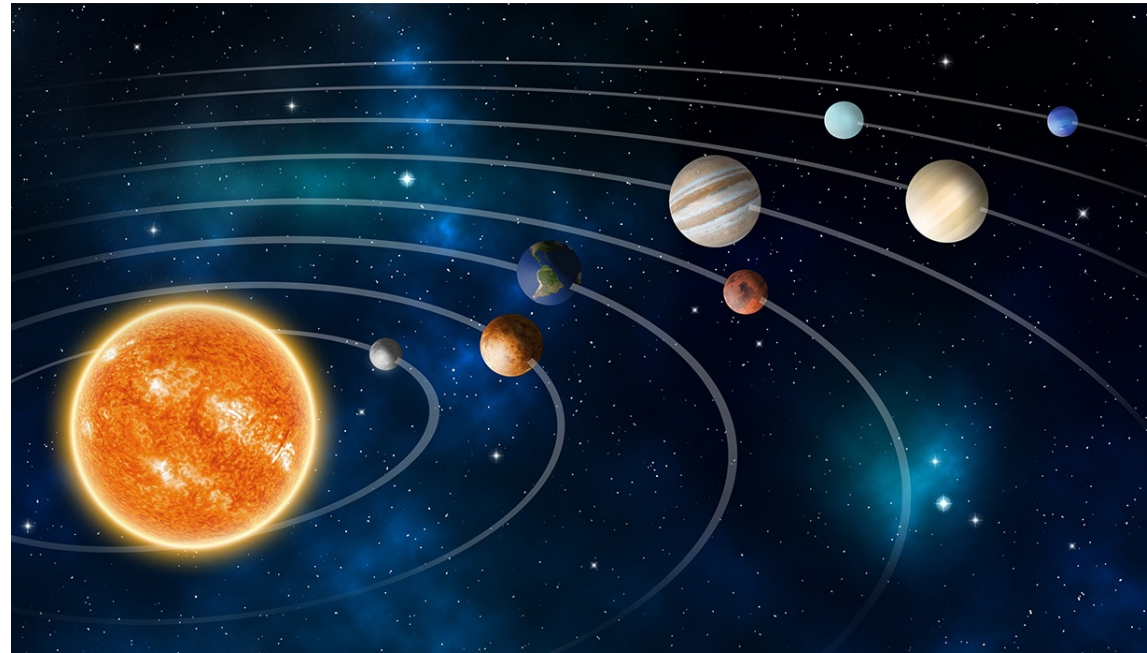
Un sistema isolato nello spazio (Mercurio dista ~ 60 milioni di km)

Una massa gassosa composta da:

H al 70%

He al 28%

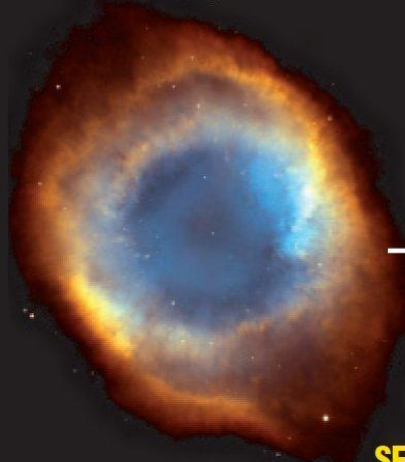
"metalli" 2%



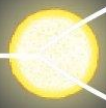
Irraggia energia -> Splende!

# La vita delle stelle

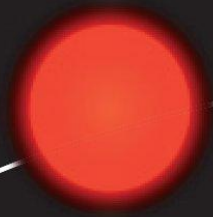
**NEBULOSA STELLARE**  
 Una regione più densa della nebulosa inizia a restringersi, a riscaldarsi e diventa una protostella



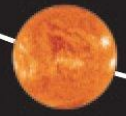
**SEQUENZA PRINCIPALE**  
 La stella risplende grazie alle reazioni nucleari che producono luce e calore



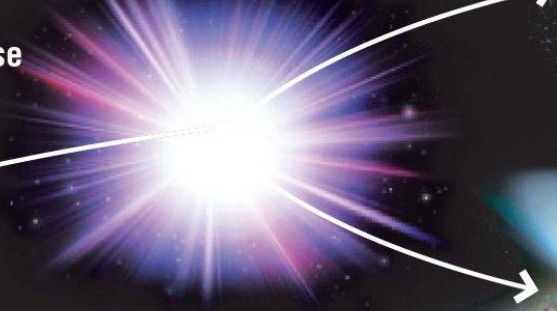
**SUPERGIGANTE**  
 Le stelle più grandi si espandono, si raffreddano e diventano rosse



**GIGANTE ROSSA**  
 Le stelle più piccole si espandono e diventano rosse



**SUPERNOVA**  
 La supergigante esplose diventando brillantissima



**NEBULOSA PLANETARIA**  
 I gas più esterni si disperdono



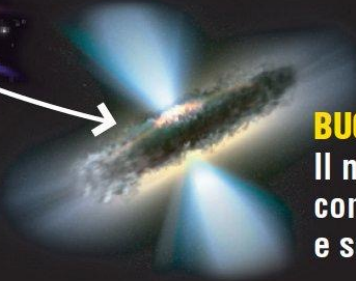
Il nucleo esposto forma una **NANA BIANCA**



**STELLA DI NEUTRONI**  
 Il nucleo della supernova collassa e diventa densissimo



**BUCO NERO**  
 Il nucleo collassa completamente e scompare



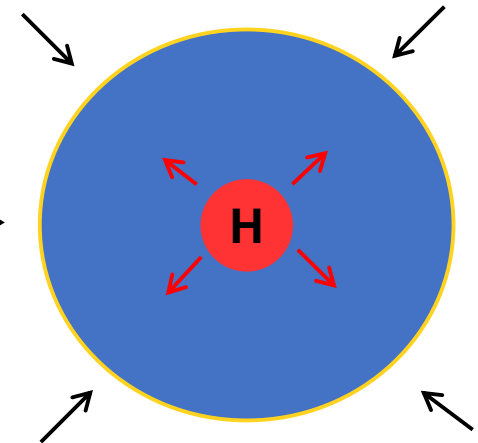
**NANA NERA**  
 La stella smette di bruciare



# EVOLUZIONE STELLARE

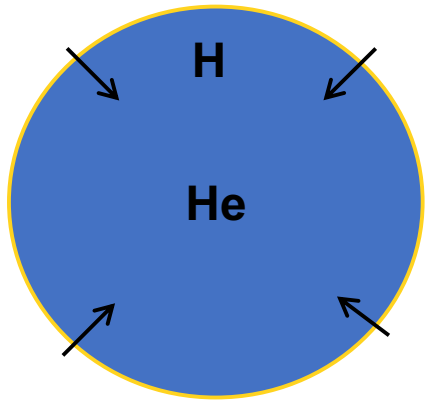


Contrazione gravitazionale

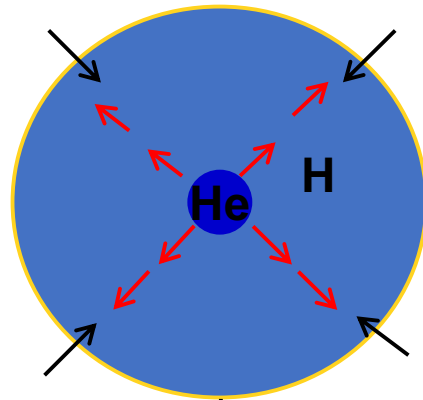


**bruciamento H**  
 **$T > 10^7 \text{ K}$**   
 **$M > 0.08 M_{\text{sole}}$**

# EVOLUZIONE STELLARE



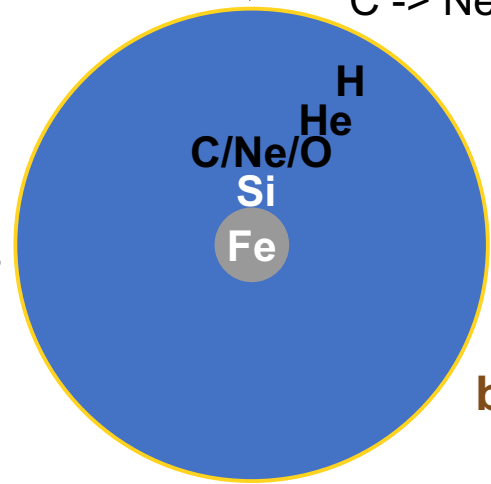
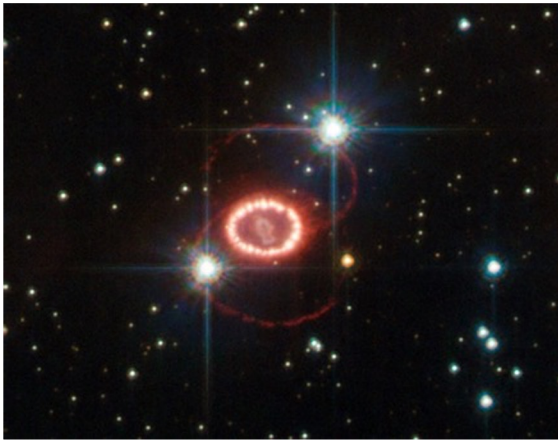
Contrazione  
(aumento di temperatura)



**bruciamento He**  
 $T > 10^8 \text{ K}$   
 $M > 0.4 M_{\text{sun}}$

Bruciamenti  
C -> Ne -> O

## Esplosione di supernova

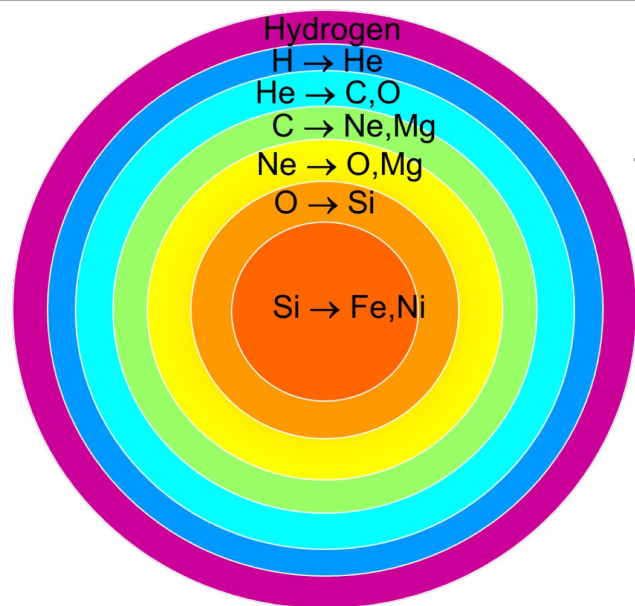


**bruciamento Si**  
 $T > 5 \times 10^9 \text{ K}$   
 $M > 15 M_{\text{sun}}$

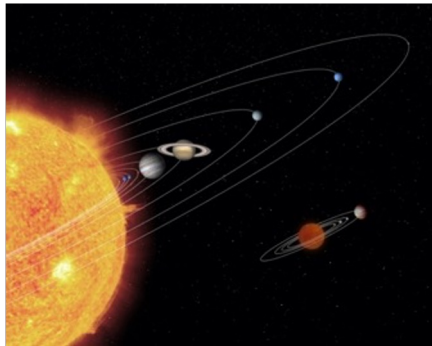


# EVOLUZIONE STELLARE

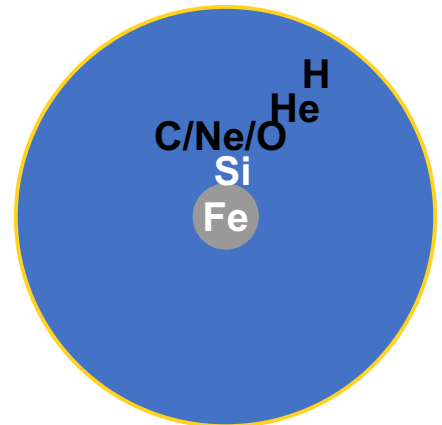
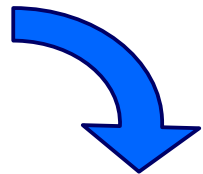
Burning stage	Dominant process	$T_c$ [keV]	$\rho_c$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$L_\gamma$ [ $10^4 L_\odot$ ]	$L_\nu/L_\gamma$	Duration [years]
Hydrogen	H → He	3	5.9	2.1	—	$1.2 \times 10^7$
Helium	He → C, O	14	$1.3 \times 10^3$	6.0	$1.7 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^6$
Carbon	C → Ne, Mg	53	$1.7 \times 10^5$	8.6	1.0	$6.3 \times 10^3$
Neon	Ne → O, Mg	110	$1.6 \times 10^7$	9.6	$1.8 \times 10^3$	7.0
Oxygen	O → Si	160	$9.7 \times 10^7$	9.6	$2.1 \times 10^4$	1.7
Silicon	Si → Fe, Ni	270	$2.3 \times 10^8$	9.6	$9.2 \times 10^5$	6 days



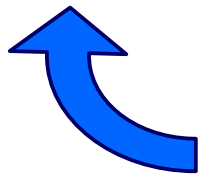
# EVOLUZIONE STELLARE



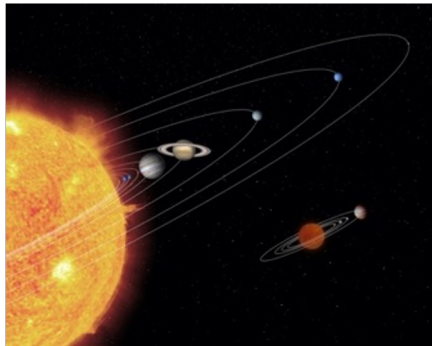
Formazione di stelle e pianeti a partire da una nube di gas



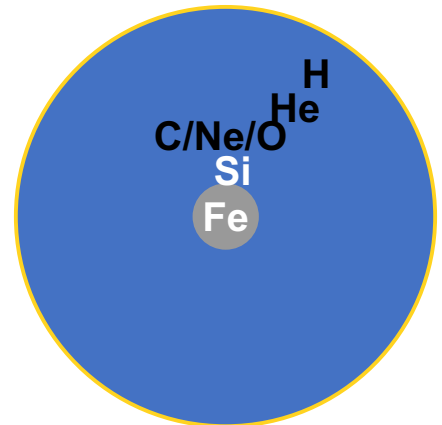
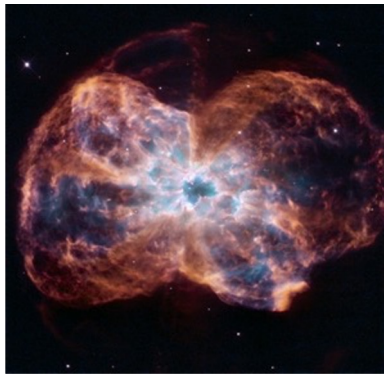
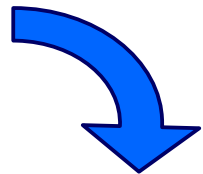
Produzione elementi ed espulsione nel mezzo interstellare



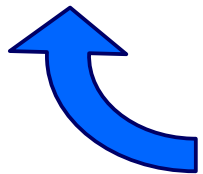
# EVOLUZIONE STELLARE



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

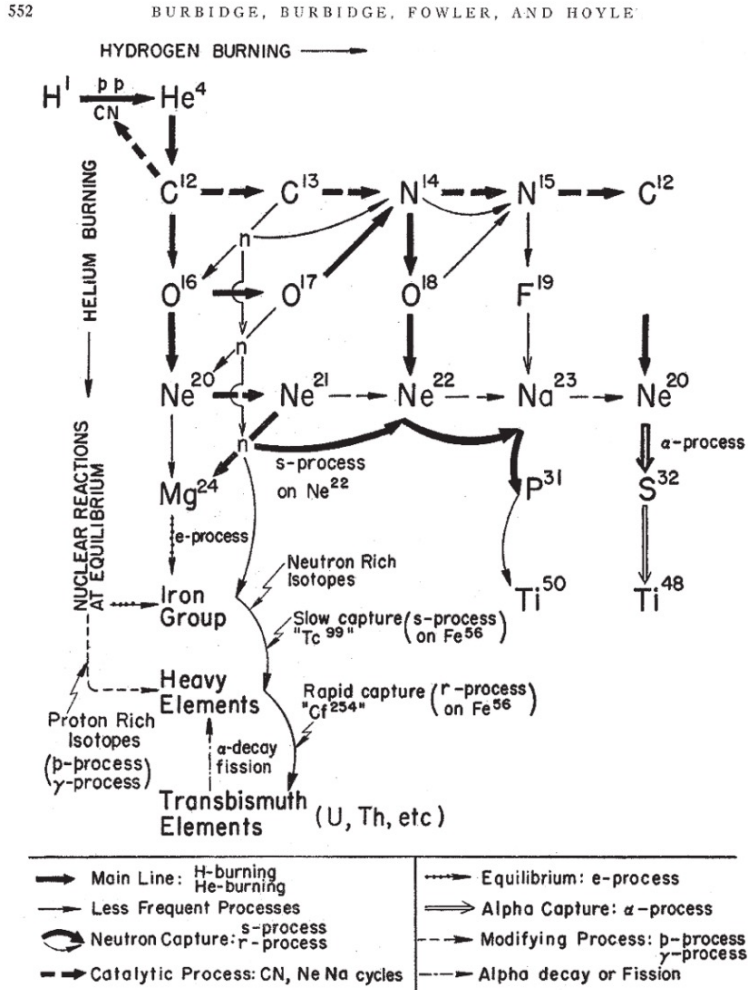


Produzione elementi ed espulsione nel mezzo interstellare



# Landmark paper: B<sup>2</sup>FH

"Synthesis of the Elements in Stars"  
(Burbidge, Burbidge, Fowler & Hoyle 1957)



Margaret Burbidge Geoffrey Burbidge  
William Fowler Fred Hoyle



B2FH at the symposium celebrating Willy Fowler's sixtieth birthday at the Institute of Theoretical Astronomy, Cambridge in 1971. The fully working miniature steam engine was a sixtieth birthday present to Willy, who was a steam engine enthusiast.

# 2019 Anno Internazionale della Tavola Periodica UNESCO



**BIG BANG**



**FUSIONE NUCLEARE**



**PROCESSO S**



**PROCESSO R**



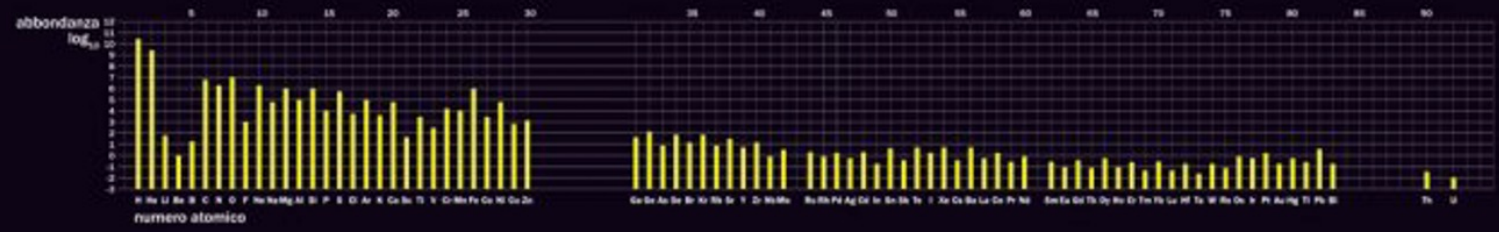
**ARTIFICIALI**

1 H idrogeno	2 He elio																	
3 Li litio	4 Be berillio																	
11 Na sodio	12 Mg magnesio																	
19 K potassio	20 Ca calcio	21 Sc scandio	22 Ti titanio	23 V vanadio	24 Cr cromo	25 Mn manganese	26 Fe ferro											
37 Rb rubidio	38 Sr stronzio	39 Y ittrio	40 Zr zirconio	41 Nb niobio	42 Mo molibdeno	43 Tc tecnicio	44 Ru rutenio											
55 Cs cesio	56 Ba bario			72 Hf hafnio	73 Ta tantalio	74 W tungsteno	75 Re renio	76 Os osmio										
87 Fr francio	88 Ra radio			104 Rf rutherfordio	105 Db dubnio	106 Sg seaborgio	107 Bh bohrio	108 Hs hassio										
		57 La lantano	58 Ce cerio	59 Pr praseodimio	60 Nd neodimio	61 Pm promezio												
		89 Ac attinio	90 Th torio	91 Pa protattinio	92 U uranio	93 Np netunio												

26	numero atomico
Fe	simbolo
ferro	nome

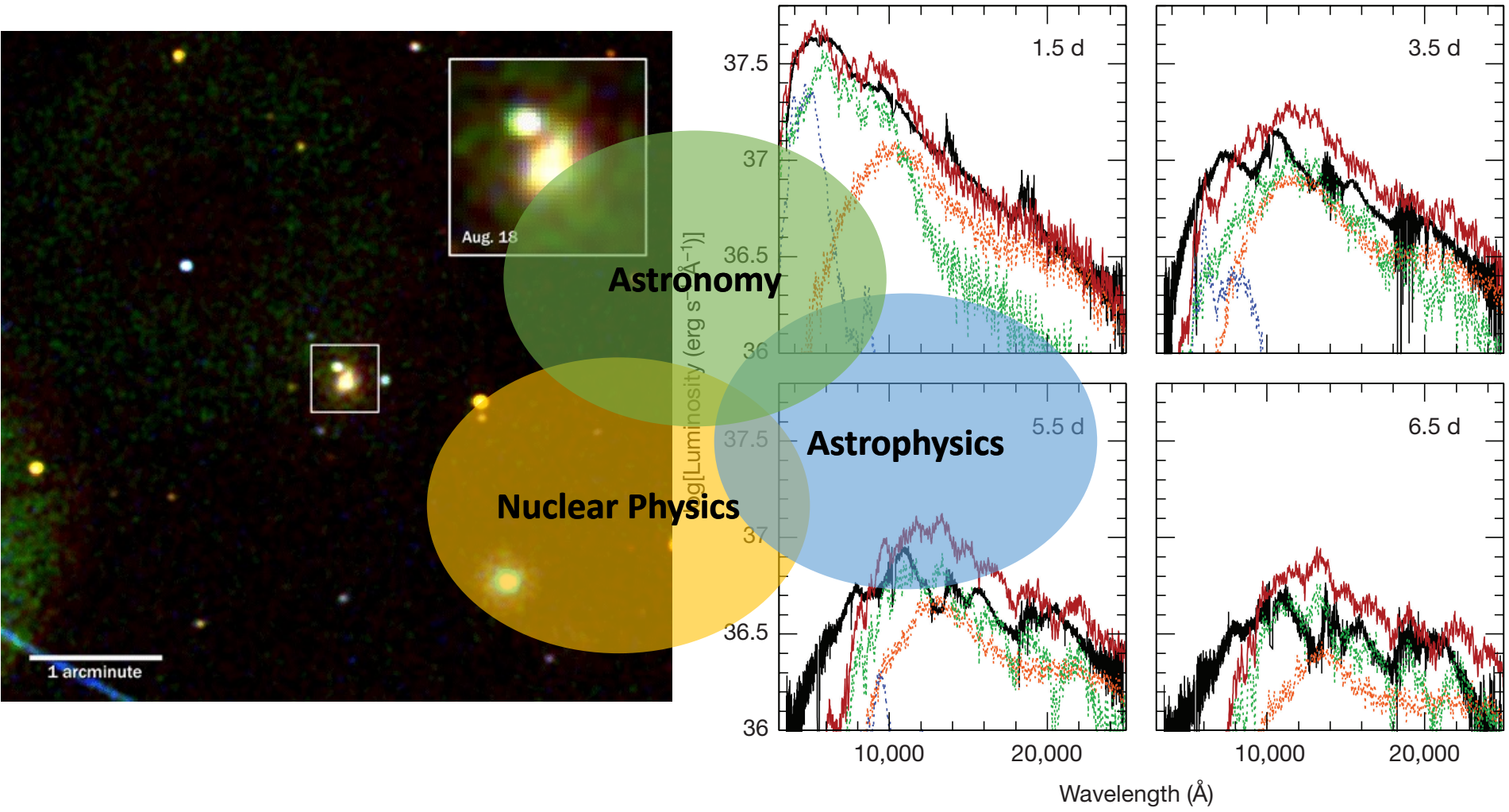
5 B boro	6 C carbonio	7 N azoto	8 O ossigeno	9 F fluoro	10 Ne neon										
13 Al alluminio	14 Si silicio	15 P fosforo	16 S zolfo	17 Cl cloro	18 Ar argon										
27 Co cobalto	28 Ni nichel	29 Cu rame	30 Zn zinco	31 Ga gallo	32 Ge germanio	33 As arsenico	34 Se selenio	35 Br bromo	36 Kr krypton						
45 Rh rodio	46 Pd palladio	47 Ag argento	48 Cd cadmio	49 In indio	50 Sn stagno	51 Sb antimonio	52 Te tellurio	53 I iodo	54 Xe xenon						
77 Ir iridio	78 Pt platino	79 Au oro	80 Hg mercurio	81 Tl tallio	82 Pb piombo	83 Bi bismuto	84 Po polonio	85 At astato	86 Rn radon						
109 Mt meitnerio	110 Ds darmstadtio	111 Rg roentgenio	112 Cn copernicio	113 Nh nihonio	114 Fl flerovio	115 Mc moscovio	116 Lv livermorio	117 Ts tennessio	118 Og oganesson						
62 Sm samario	63 Eu europio	64 Gd gadolinio	65 Tb terbio	66 Dy disprosio	67 Ho olmio	68 Er erbio	69 Tm tulio	70 Yb ittrio	71 Lu lutetio						
94 Pu plutonio	95 Am americio	96 Cm curio	97 Bk berkelio	98 Cf californio	99 Es einsteinio	100 Fm fermio	101 Md mendeleevio	102 No nobelio	103 Lr lawrencio						

ASIMMETRIE  
N° 46  
2019

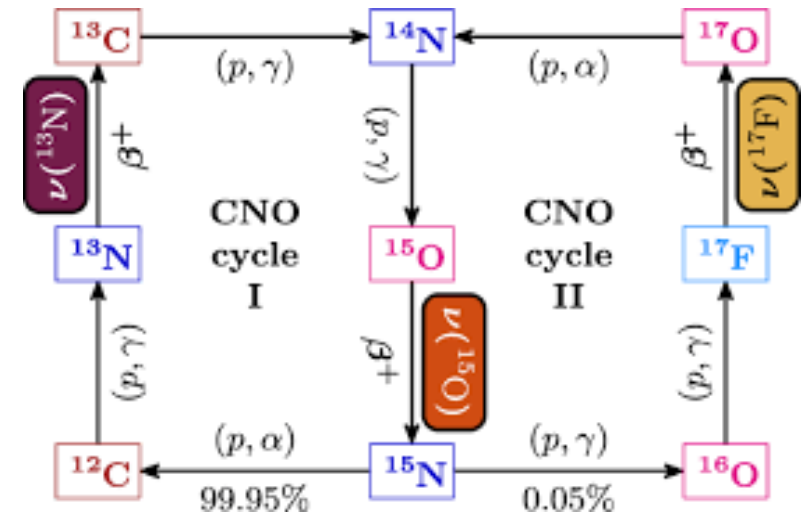
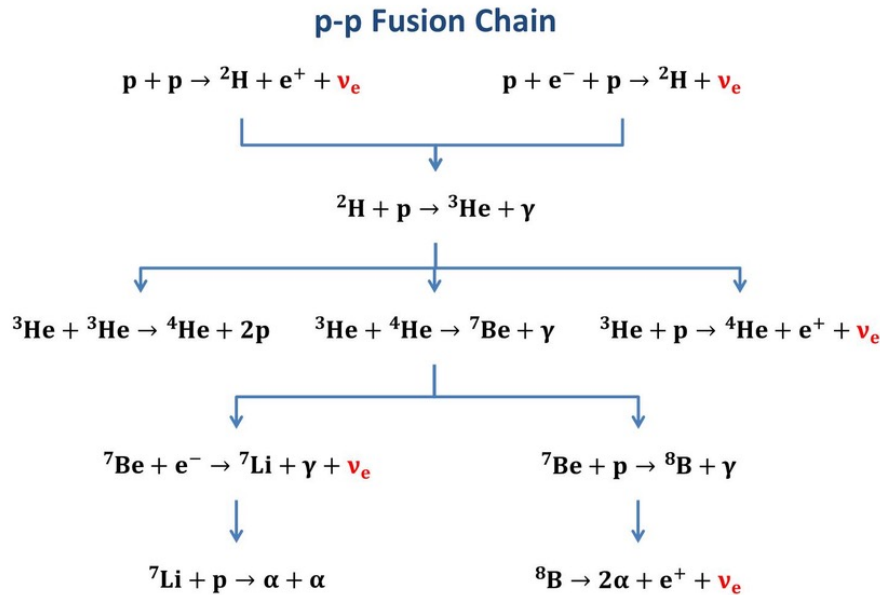


# ASTROFISICA NUCLEARE COME INTERSEZIONE DI TRE DISCIPLINE

GW170817 and its kilonova



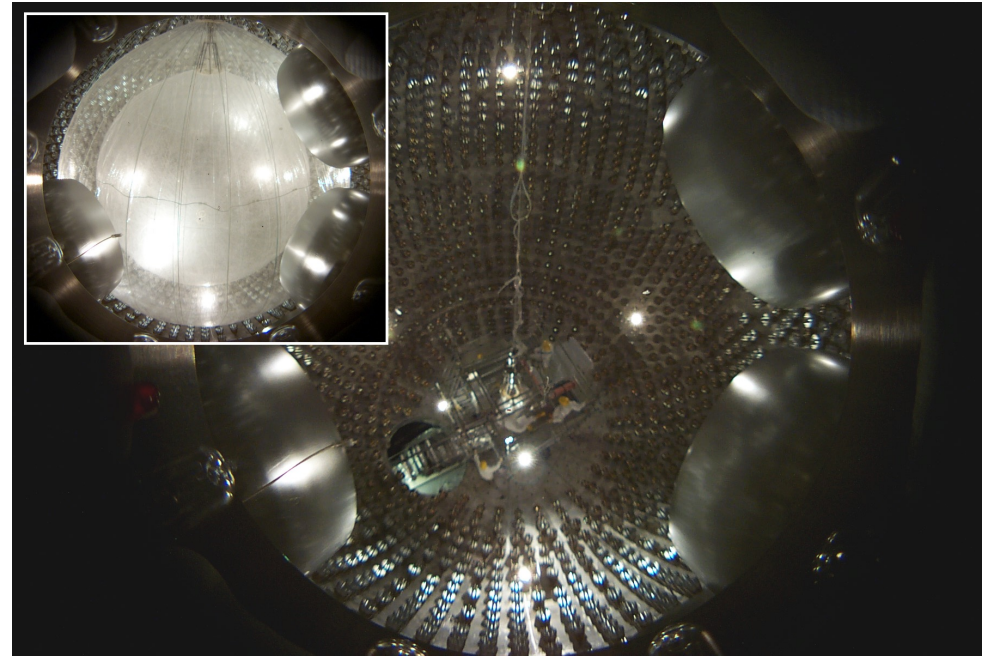
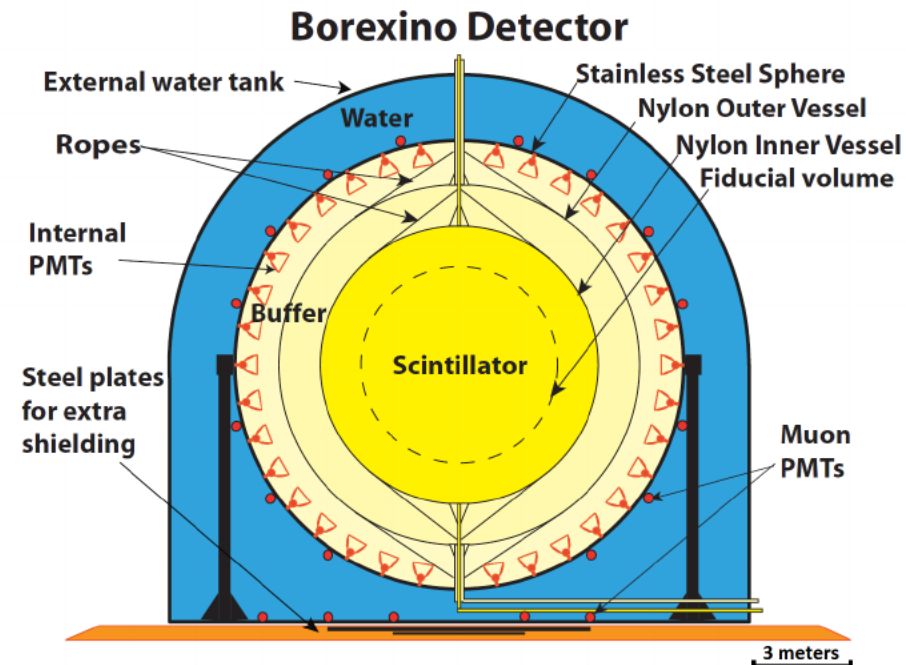
# I NEUTRINO COME SONDE PER CONOSCERE L'INTERNO DEL SOLE



I fotoni raggiungono la Terra dopo 8 minuti se partono dalla superficie, ma quelli che vengono prodotti dalle reazioni nucleari impiegano circa 100.000 anni a raggiungere la superficie del Sole

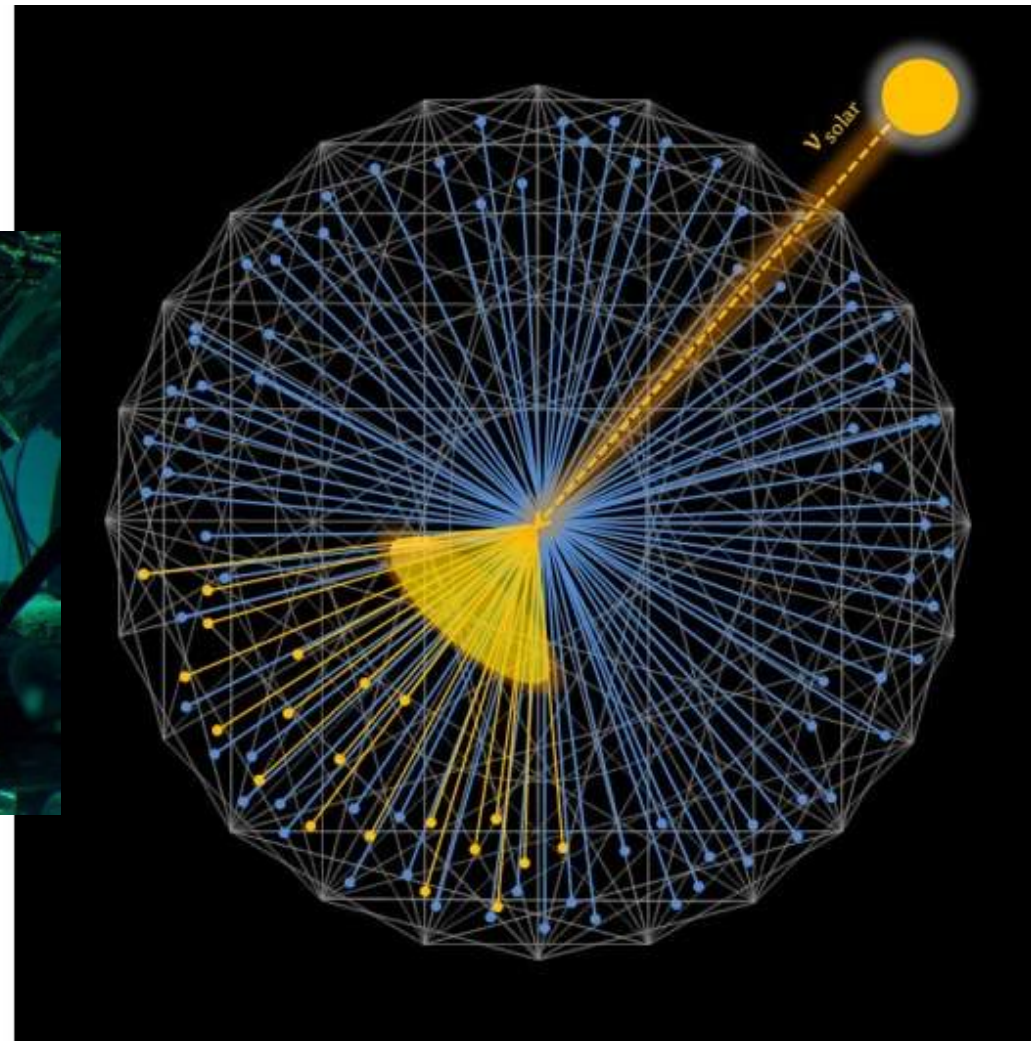
I neutrini impiegano pochi secondi ad uscire dal Sole e 8 minuti ad arrivare a noi

# BOREXINO: UNA MACCHINA FOTOGRAFICA PER NEUTRINO SOLARI





# BOREXINO: UNA MACCHINA FOTOGRAFICA PER NEUTRINO SOLARI



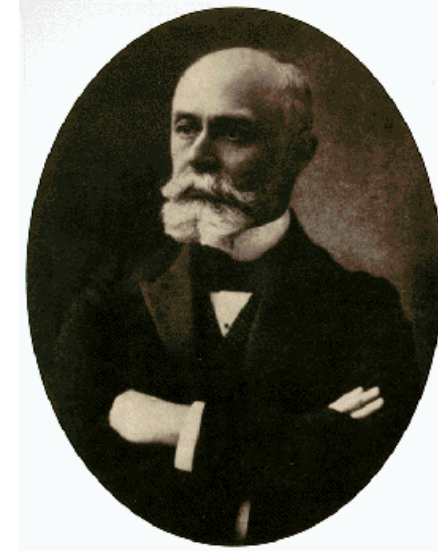
## SCOPERTA RADIOATTIVITÀ E NASCITA DELLA FISICA MODERNA

While it is never safe to affirm that the future of Physical Science has no marvels in store even more astonishing than those of the past, **it seems probable that most of the grand underlying principles have been firmly established and that further advances are to be sought chiefly in the rigorous application of these principles to all the phenomena which come under our notice.** It is here that the science of measurement shows its importance — where quantitative work is more to be desired than qualitative work. An eminent physicist remarked that the future truths of physical science are to be looked for in the sixth place of decimals.

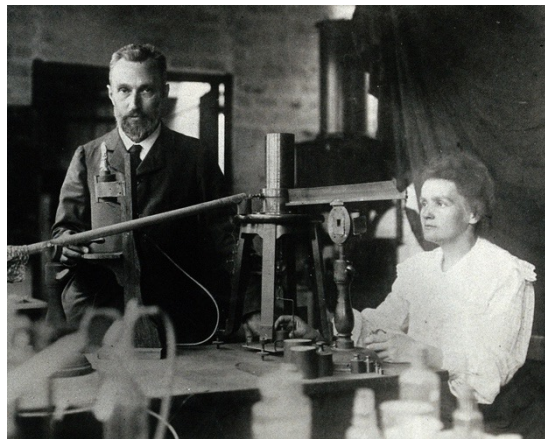
Albert Michelson in 1894

# SCOPERTA RADIOATTIVITÀ E NASCITA DELLA FISICA MODERNA

1896: scoperta della radioattività nei sali di Uranio di Bequerel



1896 - 1897: identificazione degli elementi radioattivi polonio e radio (Pierre e Marie Curie)

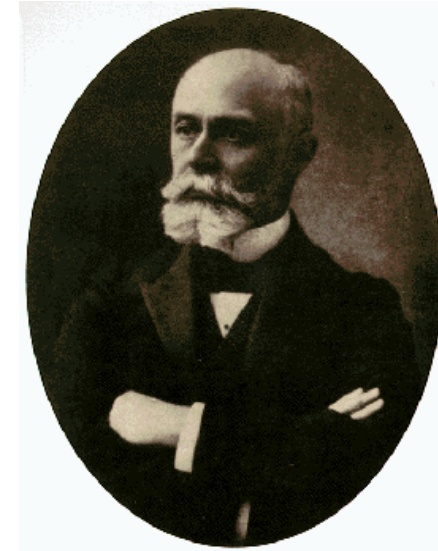


1897: scoperta dell'elettrone J.J. Thompson

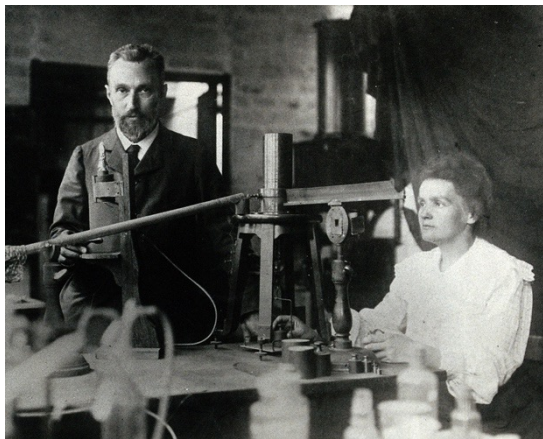
1897: identificazione dei raggi alpha, beta e gamma

# SCOPERTA RADIOATTIVITÀ E NASCITA DELLA FISICA MODERNA

1896: scoperta della radioattività nei sali di Uranio di Bequerel



1896 - 1897: identificazione degli elementi radioattivi polonio e radio (Pierre e Marie Curie)



1897: scoperta dell'elettrone J.J. Thompson

1897: identificazione dei raggi alpha, beta e gamma

Legge di Geiger Nuttal sul decadimento alpha 1911

Descrizione di Gamow del decadimento alpha 1928

Teoria del decadimento beta Fermi 1933

## STORIA DELL'ATOMO

L' **ATOMO** (dal greco ἄτομος - àtomos = indivisibile)

è la più piccola parte di ogni elemento esistente in natura

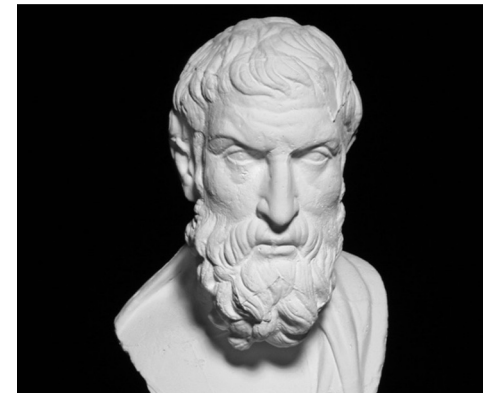
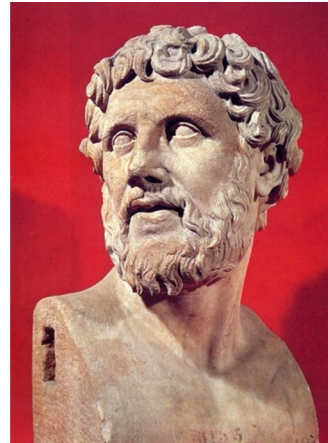
che ne conserva le caratteristiche chimiche

Le origini della teoria atomica risalgono al **500 a.C.**



Filosofi greci atomisti (Leucippo, Democrito, Epicuro):

Materia costituita da particelle molto piccole, indivisibili.

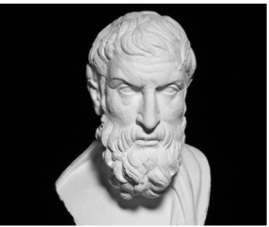


# TEORIE ATOMICHE



500 a.C.

Filosofi greci

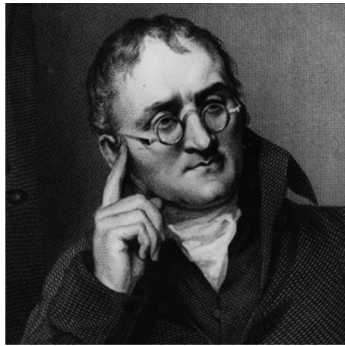


materia composta da atomi, "sfere"



1808

John Dalton

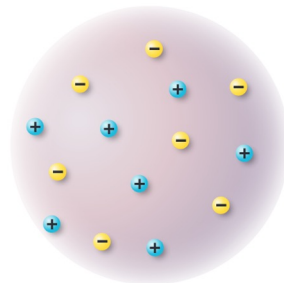


1897

J.J. Thomson

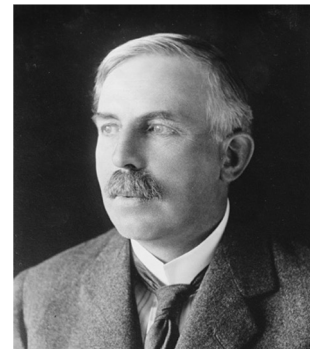


scopri l'elettrone  
"modello atomico  
"panettone"

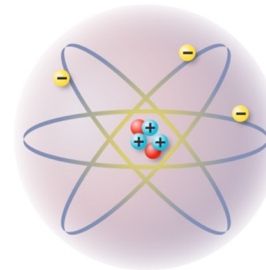


1911

E. Rutherford

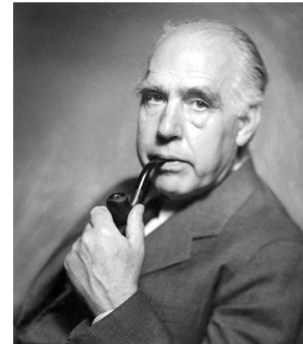


modello atomico  
"planetario" con  
nucleo centrale  
positivo

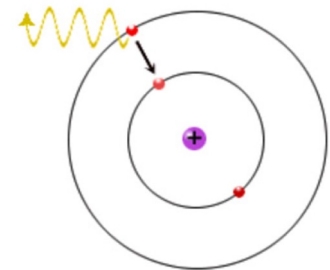


1913

N. Bohr



modello atomico con  
orbitali  
elettronici



## COSTITUENTI DELL'ATOMO

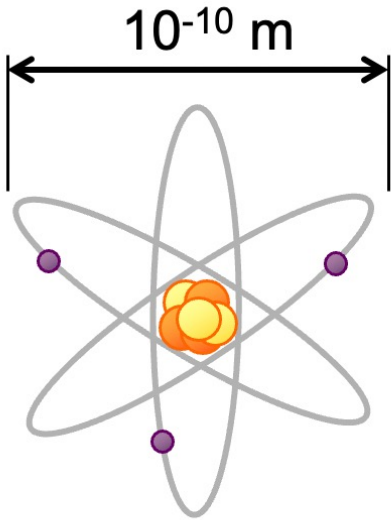
Particella	Simbolo	Carica (C)	Massa (kg)
<b>Elettrone</b>	$e^-$	$-1,6 \times 10^{-19}$	$9,1 \times 10^{-31}$
<b>Protone</b>	$p$	$+1,6 \times 10^{-19}$	$1,672 \times 10^{-27}$
<b>Neutrone</b>	$n$	<b>0</b>	$1,675 \times 10^{-27}$



$$9.1 \times 10^{-31} = \frac{9.1}{10.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000}$$

La massa di un protone è circa **1800** volte più grande della massa di un elettrone!

# DIMENSIONI DELL'ATOMO



$10^{-15} \text{ m} \sim 1 \text{ fm}$





# MASSA DEI NUCLEI (PRIME MISURE DI WILLIAM ASTON ~ 1920)

In prima approssimazione, la massa di un nucleo è uguale alla somma delle masse dei suoi costituenti:

$$M(Z, N) \sim Zm_p + Nm_n$$

Si noterà che la massa di un atomo è concentrata nel nucleo, visto che la massa di protoni e neutroni è circa 1800 volte più grande di quella degli elettroni

Particella	Massa (kg)
<b>Elettrone</b>	$9,1 \times 10^{-31}$
<b>Protone</b>	$1,6726 \times 10^{-27}$
<b>Neutrone</b>	$1,6749 \times 10^{-27}$

Nucleo	Somma masse protoni e neutroni	Massa reale (kg)
$^4_2\text{He}$	$6.70 \times 10^{-27}$	$6.65 \times 10^{-27}$
$^{12}_6\text{C}$	$2.01 \times 10^{-26}$	$1.99 \times 10^{-26}$
$^{16}_8\text{O}$	$2.68 \times 10^{-26}$	$2.66 \times 10^{-26}$
$^{56}_{26}\text{Fe}$	$9.37 \times 10^{-26}$	$9.29 \times 10^{-26}$



## ENERGIA DI LEGAME

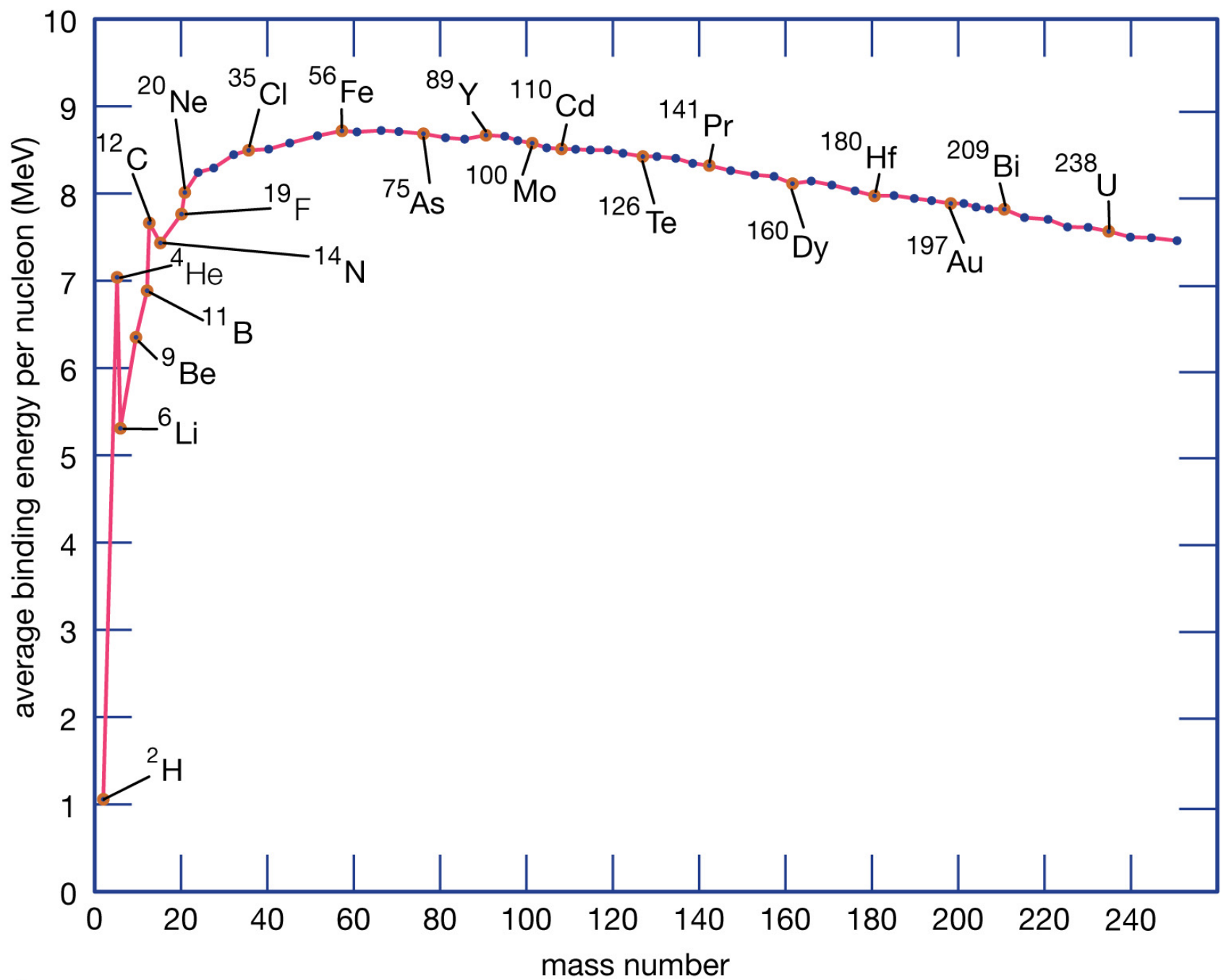
Secondo la relatività, esiste una equivalenza tra massa ed energia:  
 $E = mc^2$ , dunque le energie di interazione fra i costituenti del nucleo contribuiscono alla sua massa:

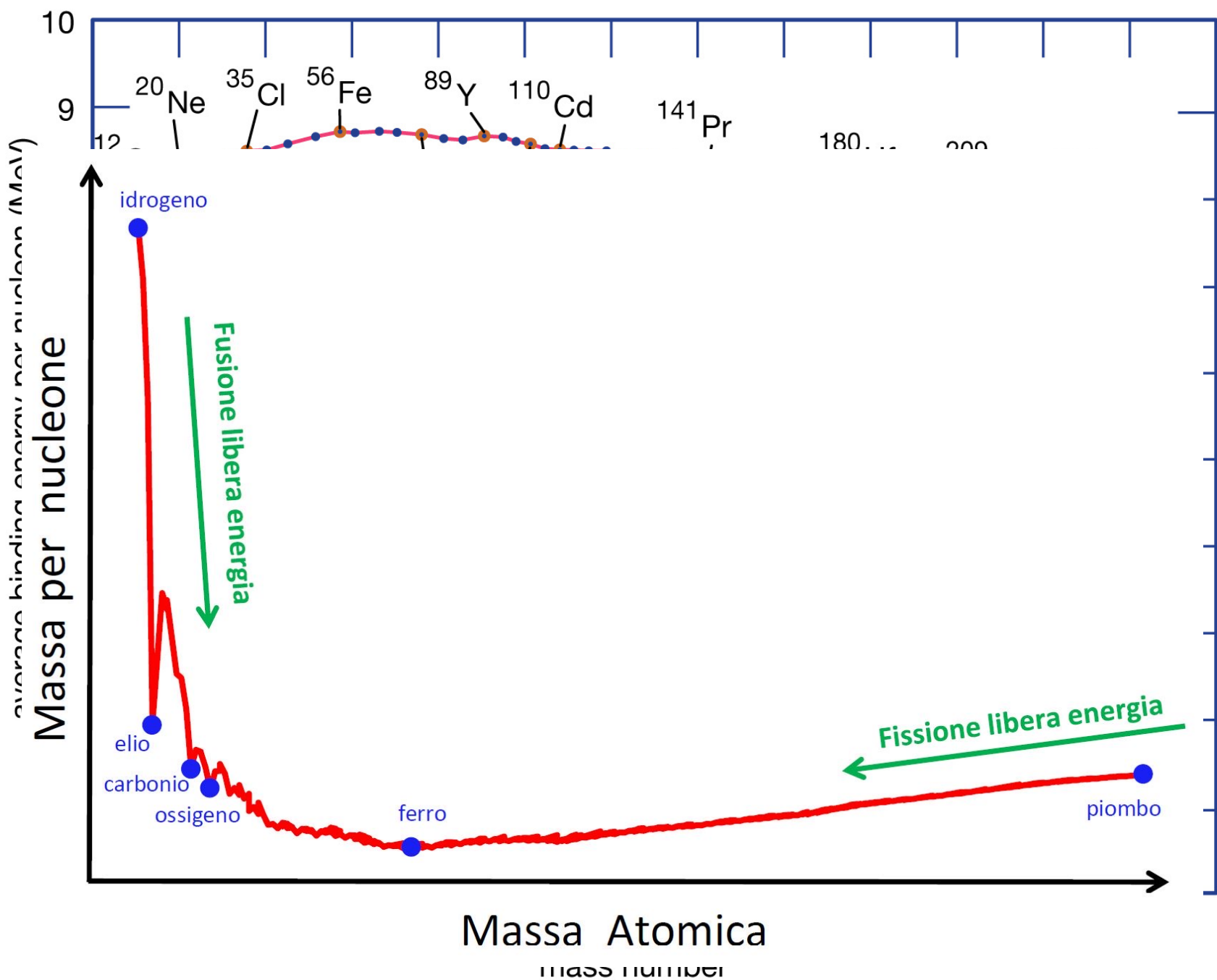
$$M(Z,N) = Zm_p + Nm_n - E_b/c^2$$

dove  $E_b$  è l'**energia di legame** del sistema.



**NOTA:** Nel caso dei nuclei, il termine  $E_b/c^2$  è dell'ordine di 1/1000 rispetto alla massa totale; per confronto negli atomi questo termine è dell'ordine 1/10<sup>9</sup>.

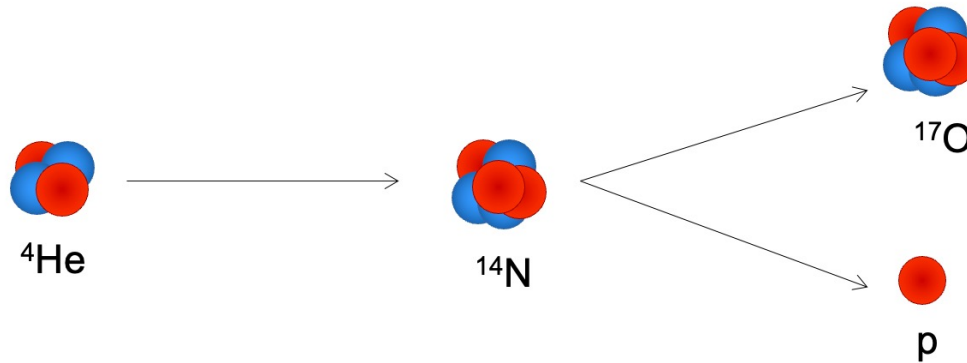




## LA FUSIONE DI 4 IDROGENI IN UN NUCLEI DI ELIO

**1919 Rutherford**

Scoperta delle reazioni nucleari

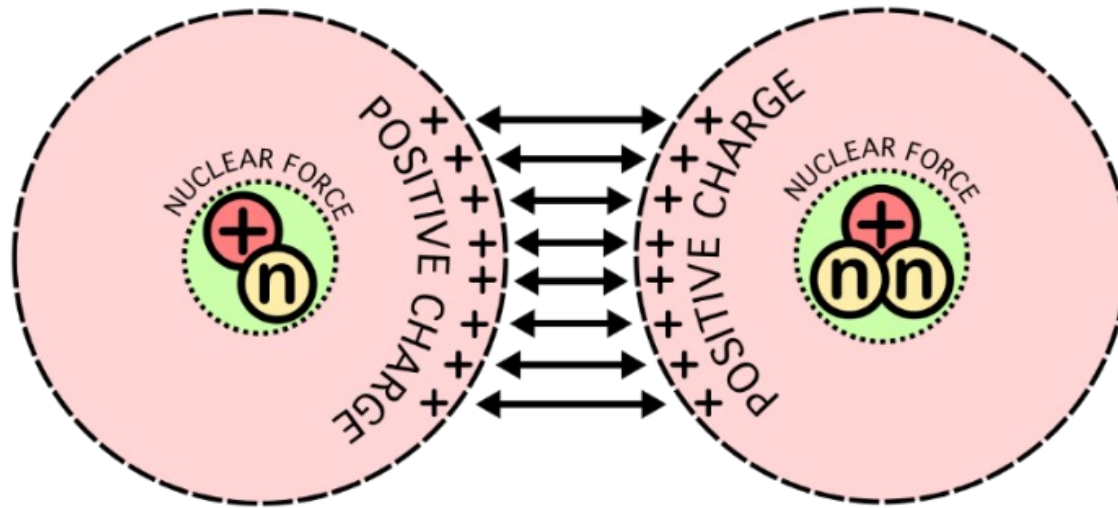


**1920 Eddington** *“Ciò che succede al Laboratorio Cavendish potrebbe non essere troppo difficile nel Sole”*

conversione  $4 \text{ H} \rightarrow \text{He}$  come sorgente di

energia per le stelle...T troppo bassa!

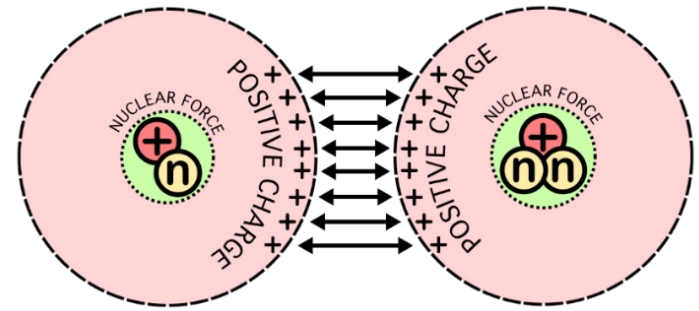
# REAZIONI DI FUSIONE NELLE STELLE



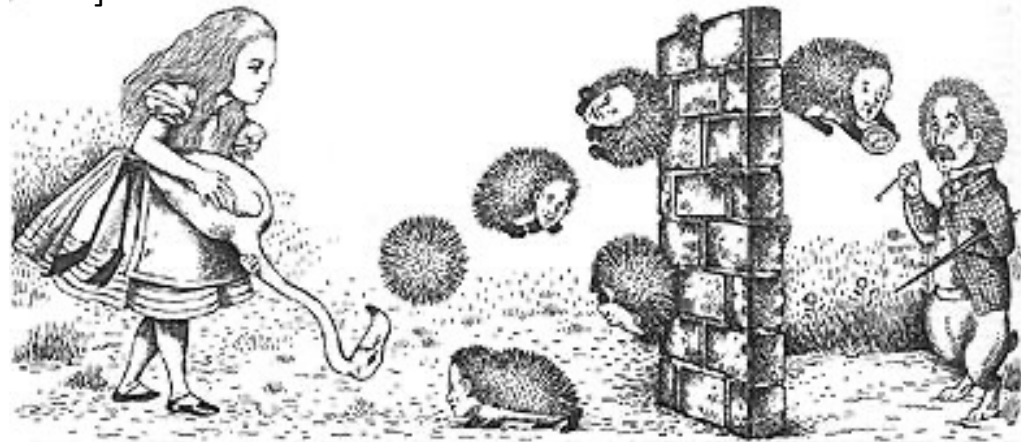
# REAZIONI DI FUSIONE NELLE STELLE

“Se l’energia della particella incidente è minore della barriera Coulombiana del nucleo bersaglio, è impossibile avere reazioni di fusione.”

[Isaac Newton]



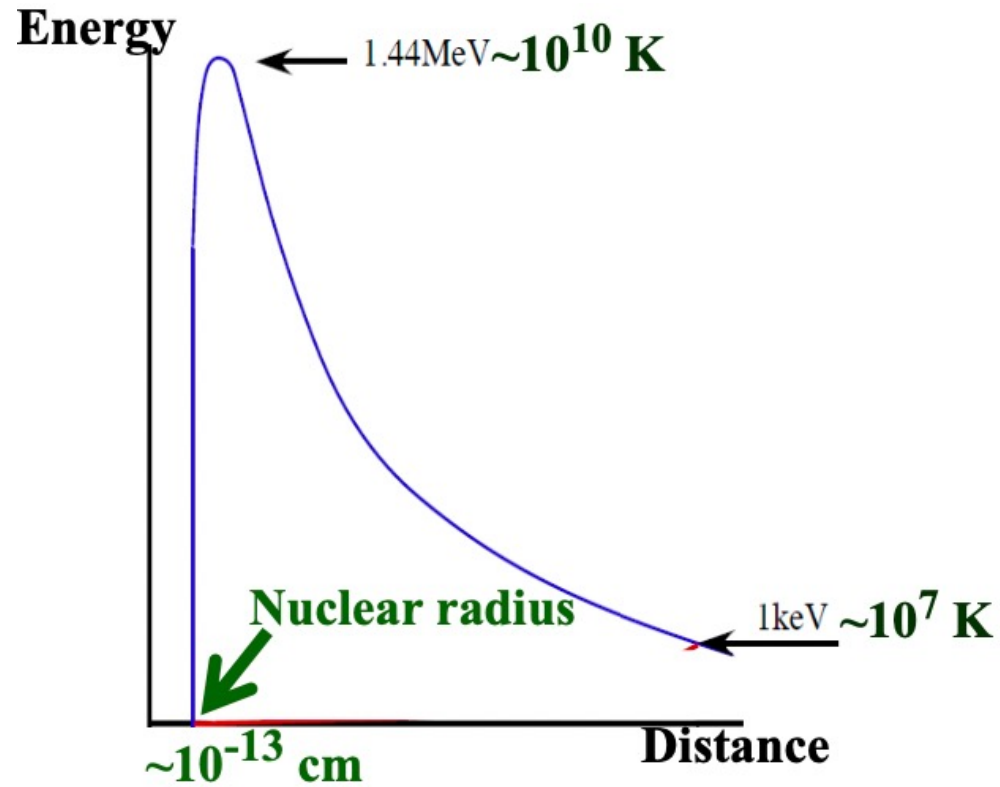
“Falso.”



[George Gamow]

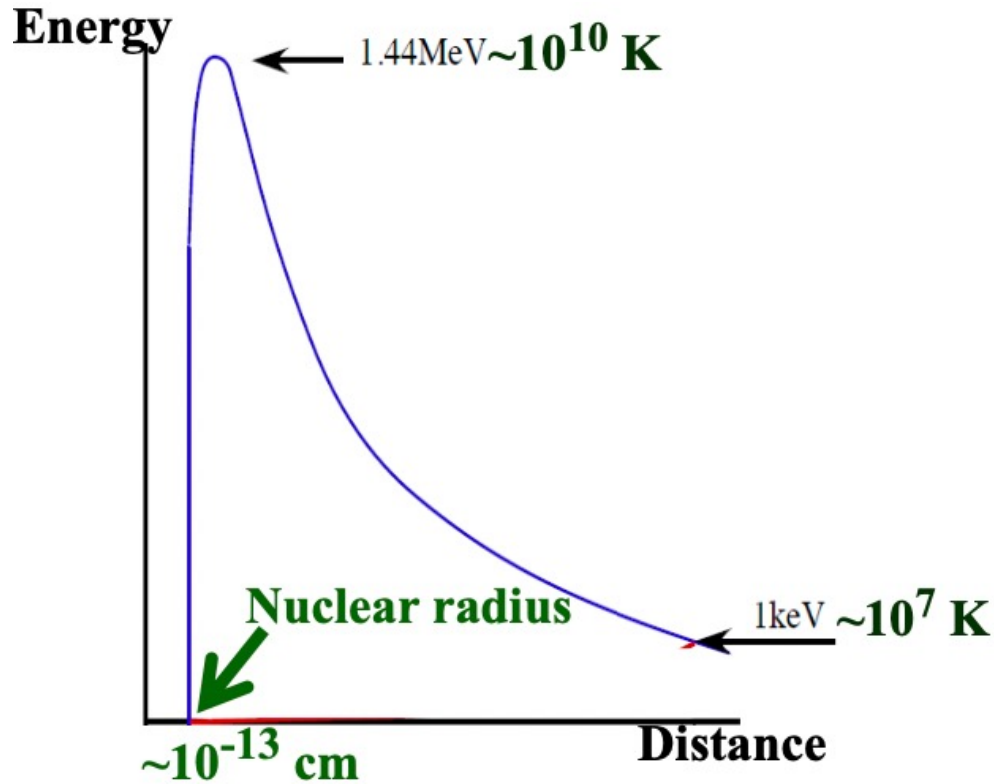
Energia cinetica	vs	Barriera Coulombiana
------------------	----	----------------------

# LA FUSIONE DI 4 IDROGENI IN UN NUCLEI DI ELIO





# LA FUSIONE DI 4 IDROGENI IN UN NUCLEI DI ELIO



**1928 Gamow** Effetto tunnel: fusione possibile anche se la temperatura sembra troppo bassa

1 ogni miliardo di scontri produce una reazione nucleare nel Sole

# LA CATENA PROTONE PROTONE

1936 - 1938 Atkinson, Bethe, Critchfield

AUGUST 15, 1938

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 54

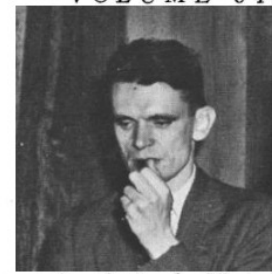


## The Formation of Deuterons by Proton Combination

H. A. BETHE, *Cornell University, Ithaca, N. Y.*

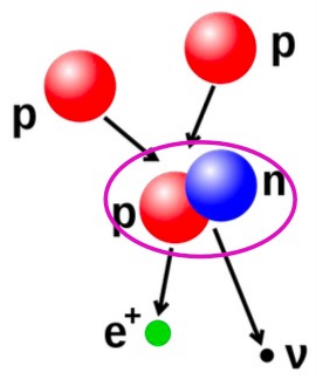
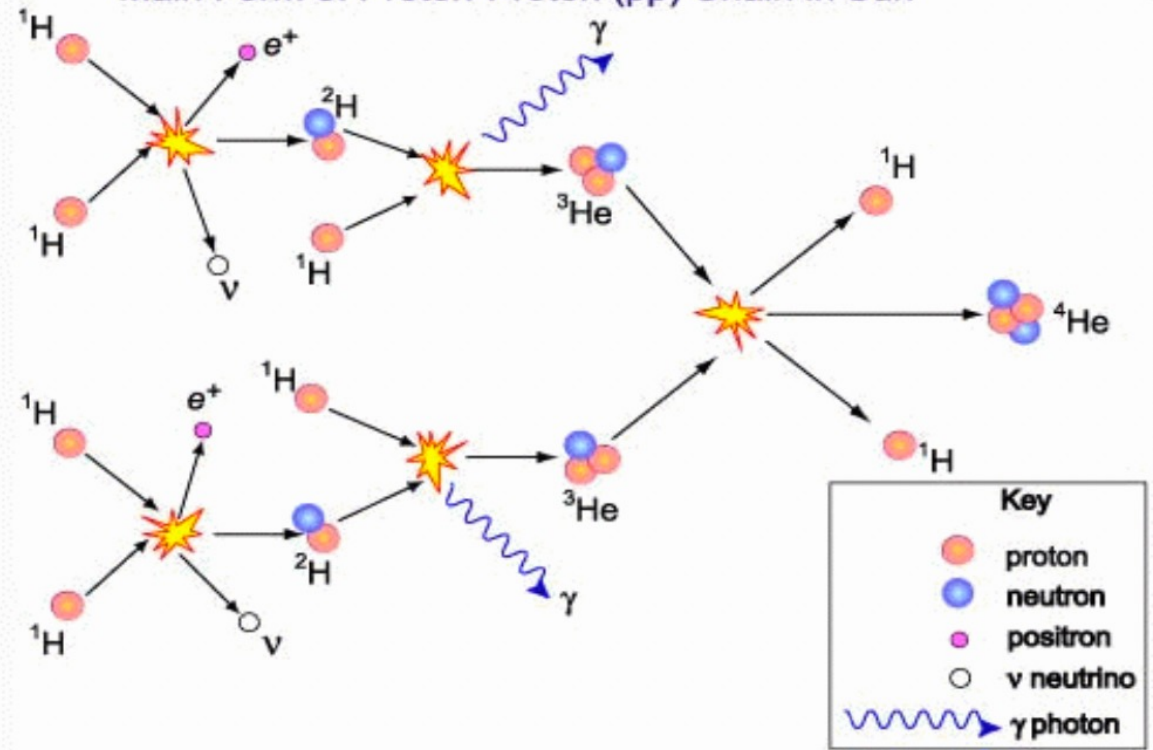
AND

C. L. CRITCHFIELD, *George Washington University, Washington, D. C.*



The probability of the astrophysically important reaction  $H+H=D+\epsilon^+$  is calculated. For the probability of p through their mutual can be calculated e evolution due to the at the center of the s degrees). This is almi tion of the sun (2 er

### Main Form of Proton-Proton (pp) Chain in Sun



# IL CICLO CNO

1938 – 1939: Bethe, Weizsacker

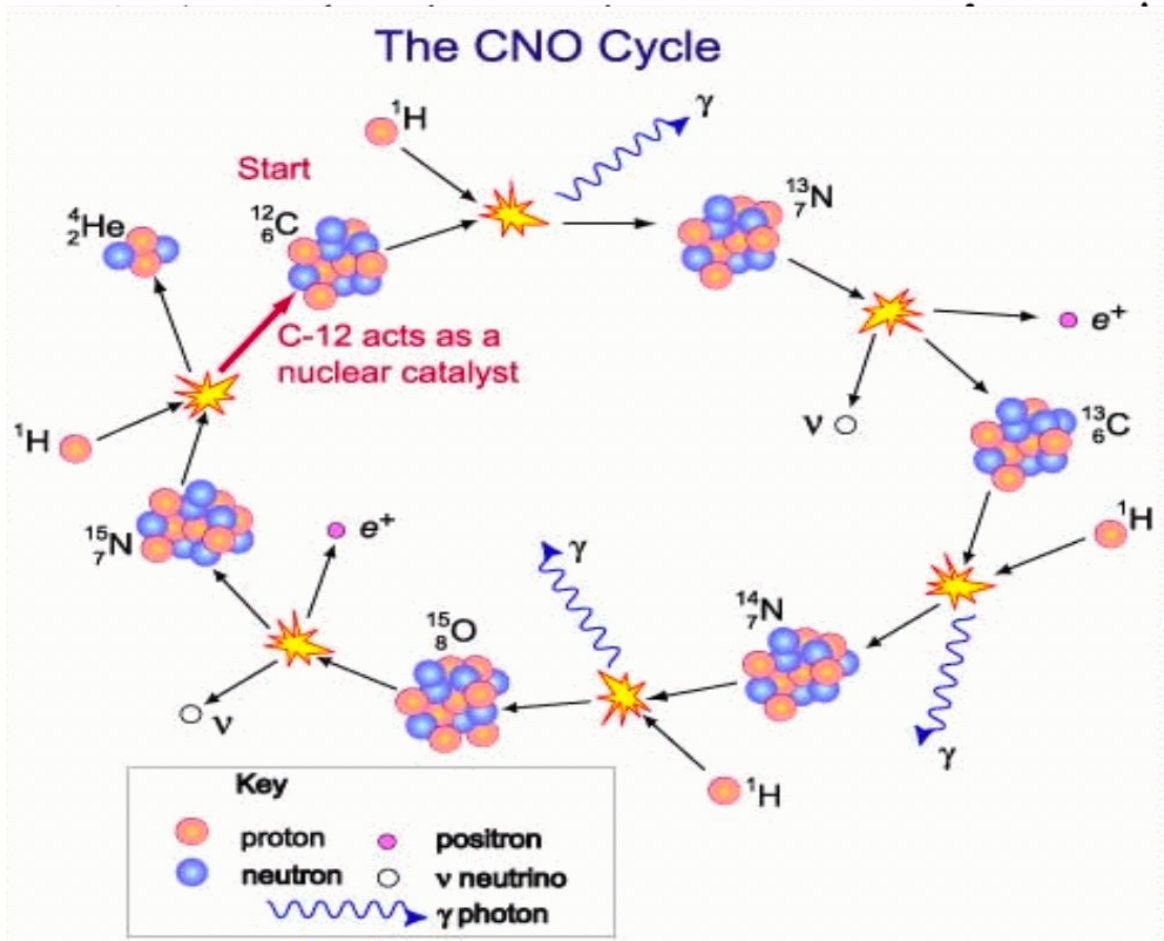
## Energy Production in Stars\*

MARCH 1, 1939

PHYSICAL REVIEW

H. A. BETHE

Cornell University, Ithaca, New York



## SOLE COME REATTORE A FUSIONE



Tasso di fusione:

$$N = \frac{L_{\odot}}{26.7 \text{ MeV}} = \frac{2.4 \cdot 10^{39} \text{ MeV/s}}{26.7 \text{ MeV}} \sim 10^{38} \frac{\text{fusioni}}{\text{s}}$$

Massa di H bruciata per unità di tempo:

$$M = 4M_{\text{protone}} \cdot N \sim 6.4 \cdot 10^{14} \frac{\text{g}}{\text{s}} = \text{640 Milioniditonnellate al secondo!}$$

Tempo scala del bruciamento:

$$t = \frac{10\% M_{\odot}}{M} \sim 10^{10} \text{ anni}$$

**consistente con l'età della Terra!**

**1920 Aston:**  $M(\text{He}) < 4 M(\text{H})$

**Eddington:** conversione  $4 \text{ H} \rightarrow \text{He}$  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

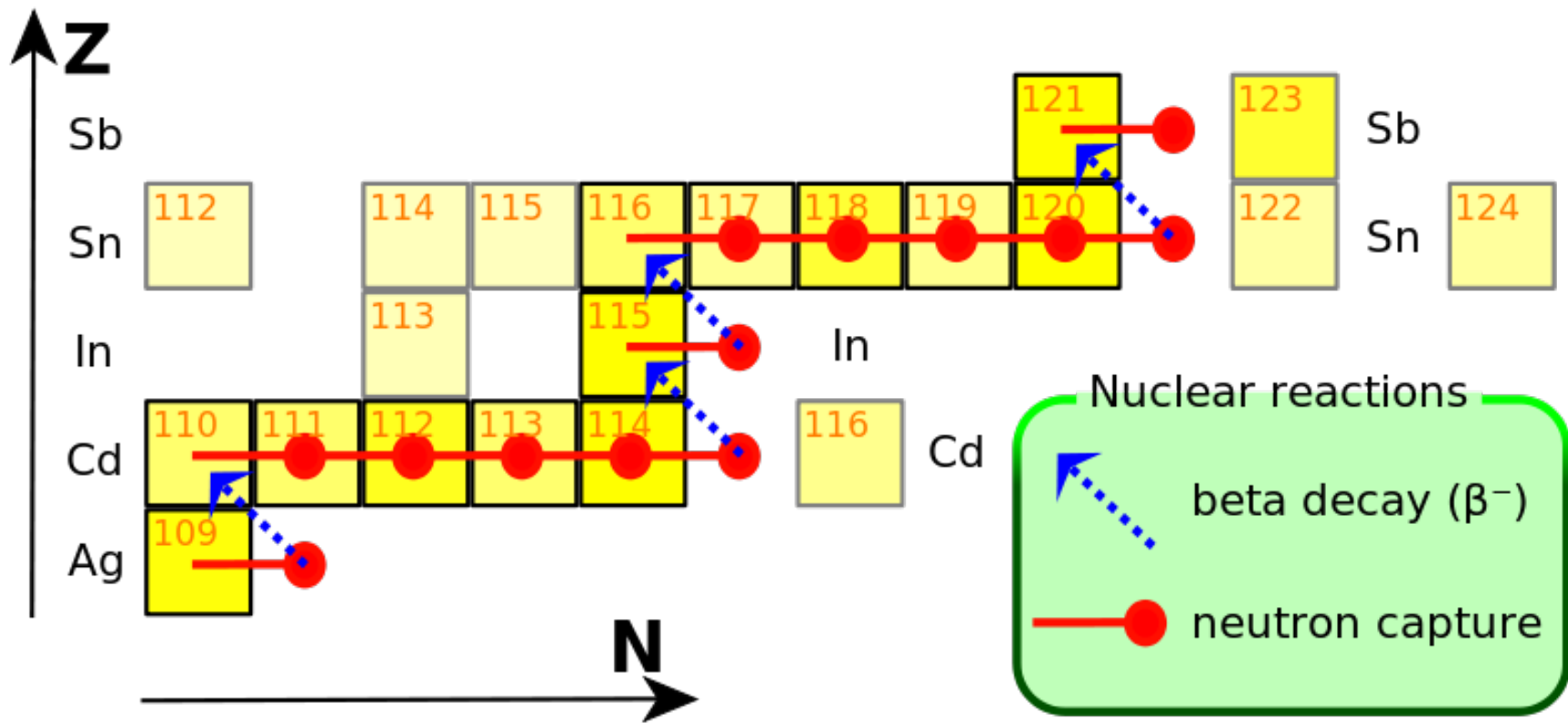
**1938 - 1939 Weizsacker – Bethe:** Ciclo CNO

**1946 Hoyle:** teoria della nucleosintesi nell'evoluzione stellare

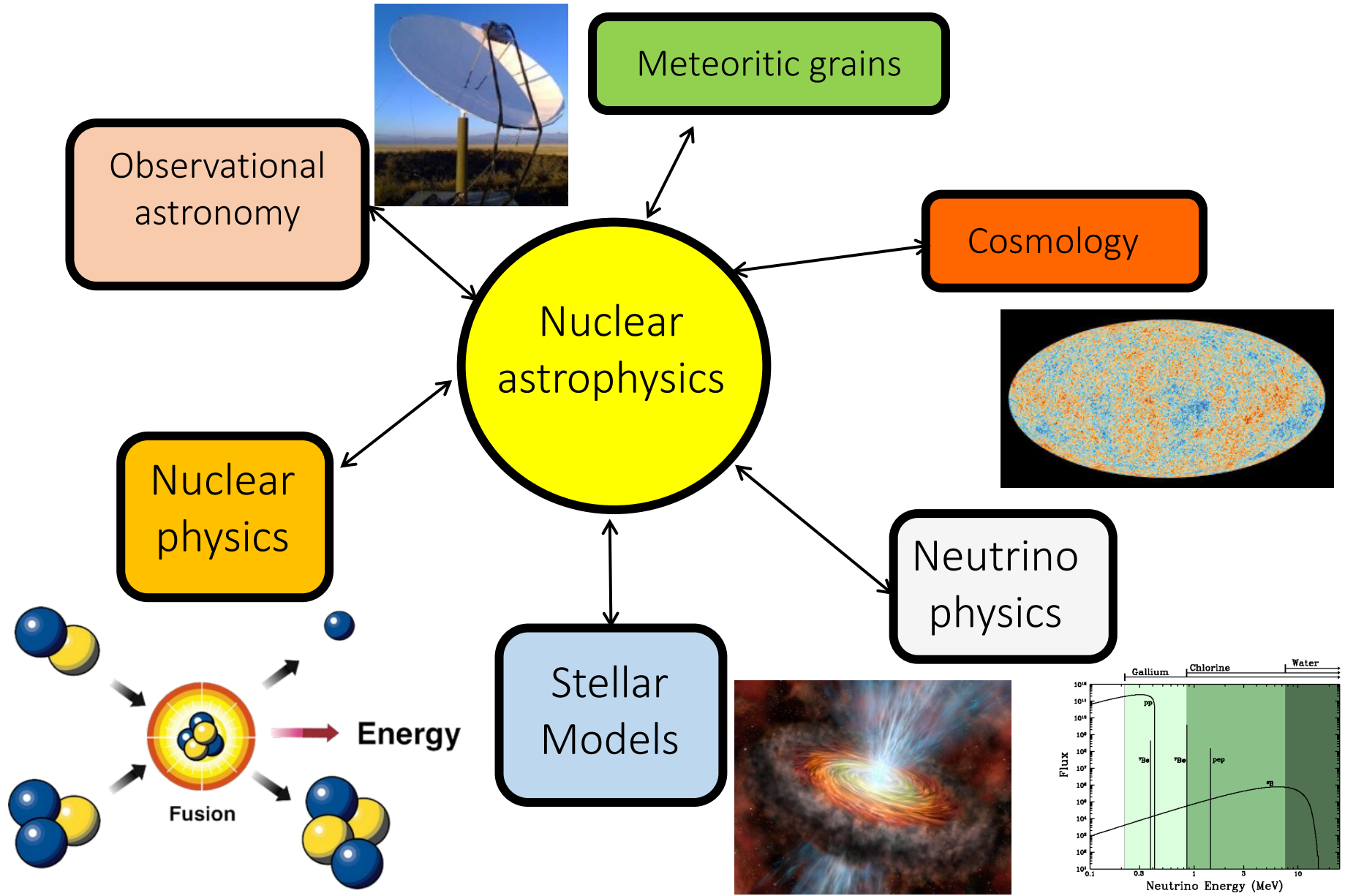
**1952 Merrill:** scoperta del  $^{98}\text{Tc}$  ( $T_{1/2} = 4.2 \times 10^6$  anni) nelle stelle, dimostrazione di nucleosintesi recente



# NUCLEOSINTESI OLTRE IL PICCO DEL FERRO: PROCESSO S E R



# ASTROFISICA NUCLEARE: UNA RICERCA INTERDISCIPLINARE





## REAZIONI NUCLEARI IN LABORATORIO

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

ACCELERATORE

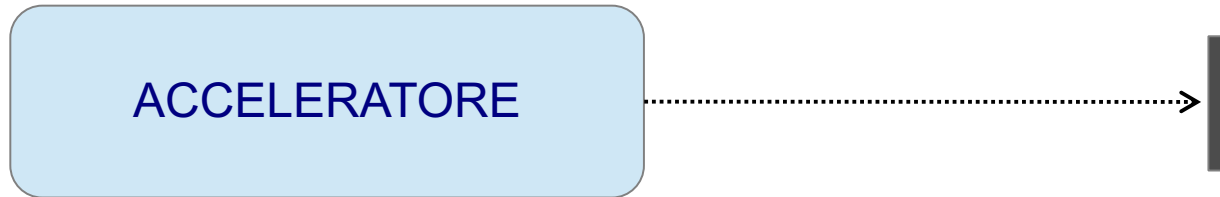


- Fascio molto intenso
- Buona risoluzione energetica

## REAZIONI NUCLEARI IN LABORATORIO

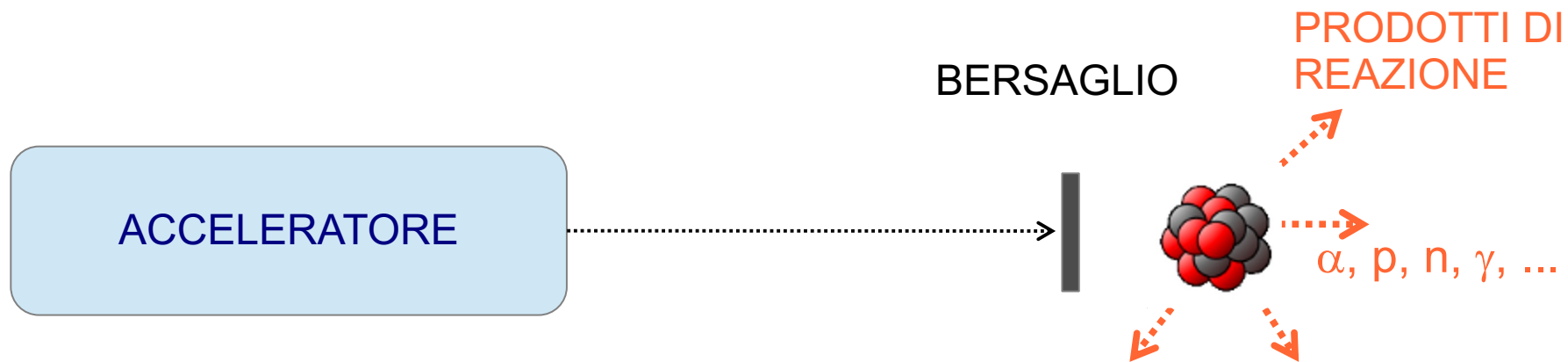
$$\sigma = \frac{N_{\text{reazioni}} / t}{N_{\text{proiettili}} / t \cdot N_{\text{bersagli}} / A}$$

BERSAGLIO



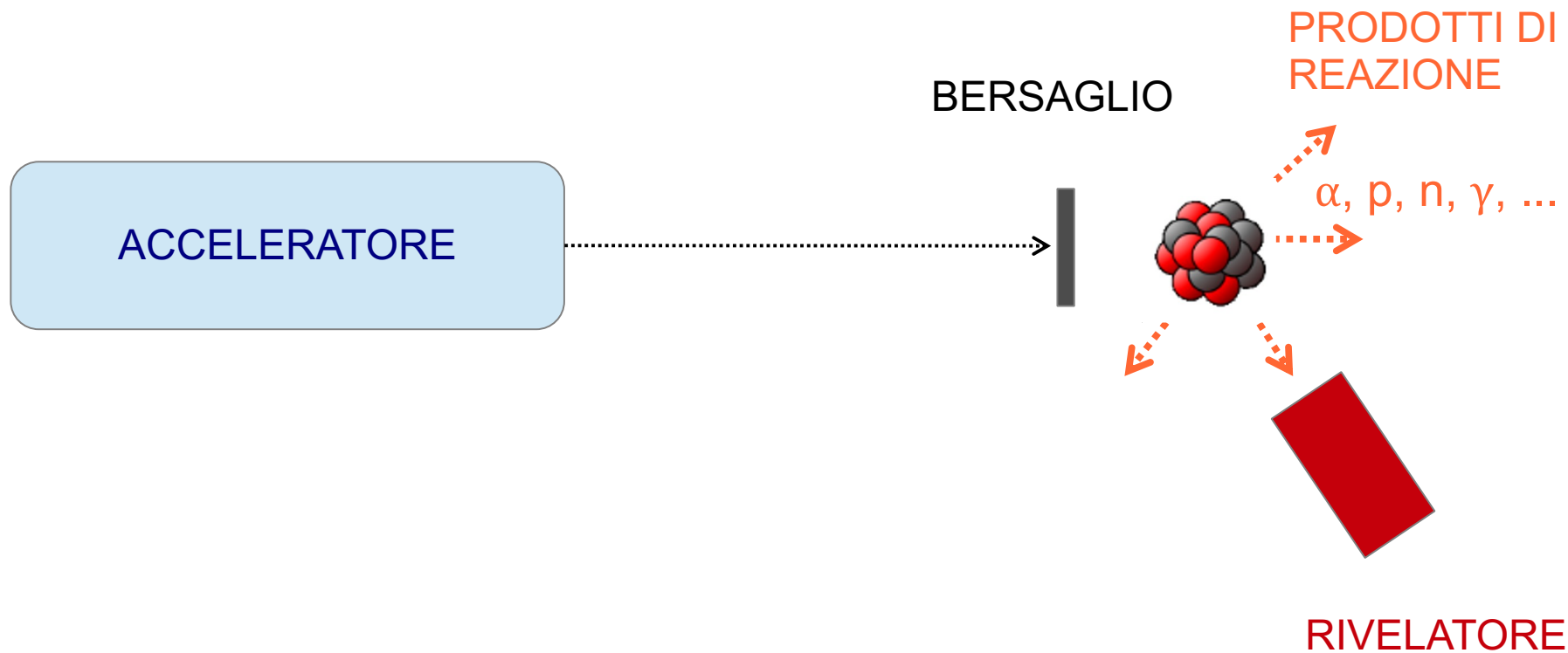
## REAZIONI NUCLEARI IN LABORATORIO

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



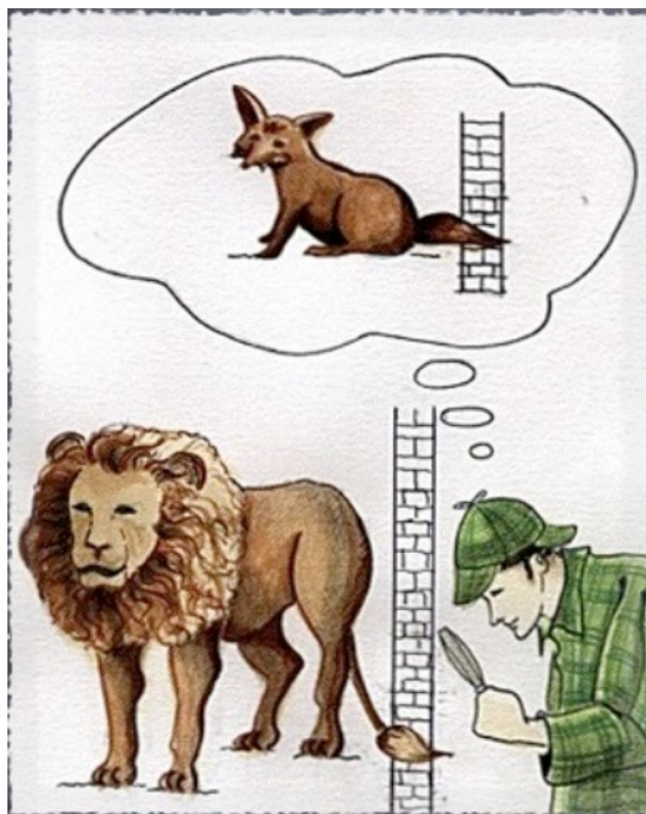
# REAZIONI NUCLEARI IN LABORATORIO

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

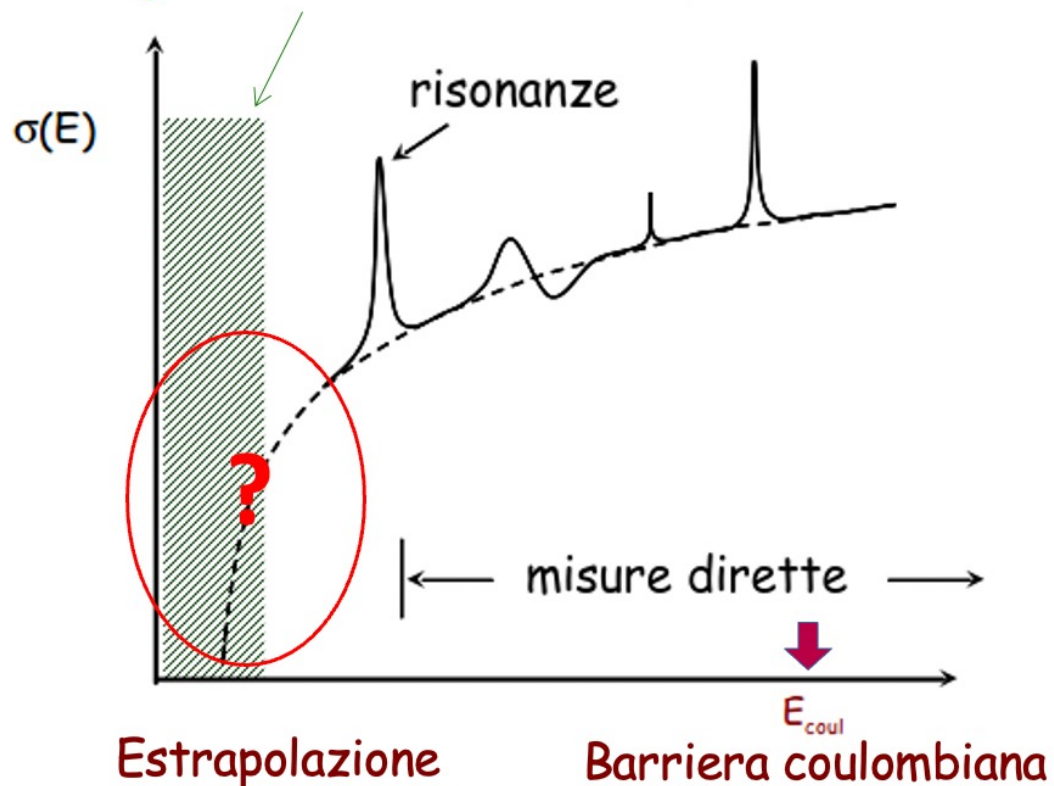


# La sezione d'urto diminuisce esponenzialmente con l'energia.

$$\sigma \leq \text{nano-barn} \quad (1\text{barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2)$$



## Energie di interesse Astrofisico



## 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

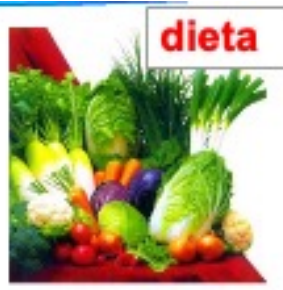
# Basso rapporto segnale-rumore



VIEWIMAGES

# 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
$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8 \text{ yr}$	0.7% dell' uranio totale
$^{238}\text{U}$	$4.47 \times 10^9 \text{ yr}$	99.3% dell' uranio totale
$^{232}\text{Th}$	$1.41 \times 10^{10} \text{ yr}$	100% del torio totale
$^{40}\text{K}$	$1.28 \times 10^9 \text{ yr}$	0.012% del potassio totale
$^{87}\text{Rb}$	$4.75 \times 10^{10} \text{ yr}$	27.8% del rubidio totale

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

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

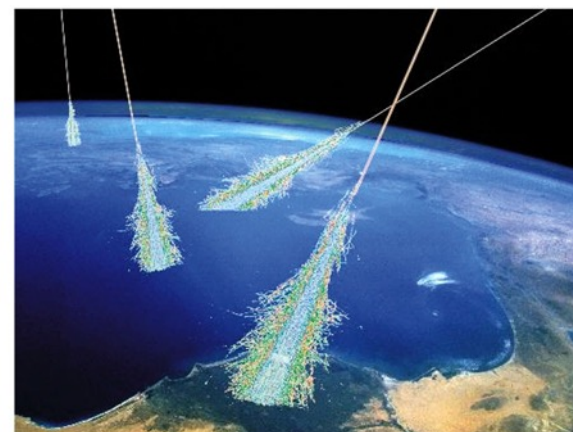
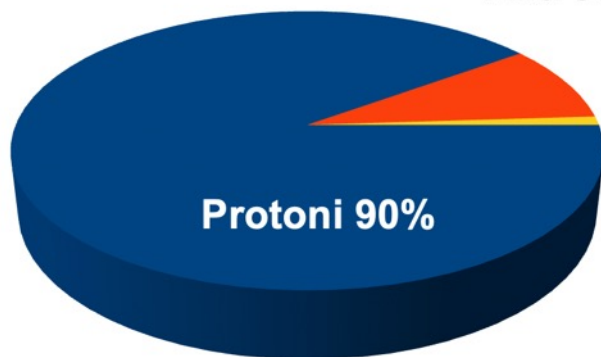
# I RAGGI COSMICI

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%**

**Alfa 9%**

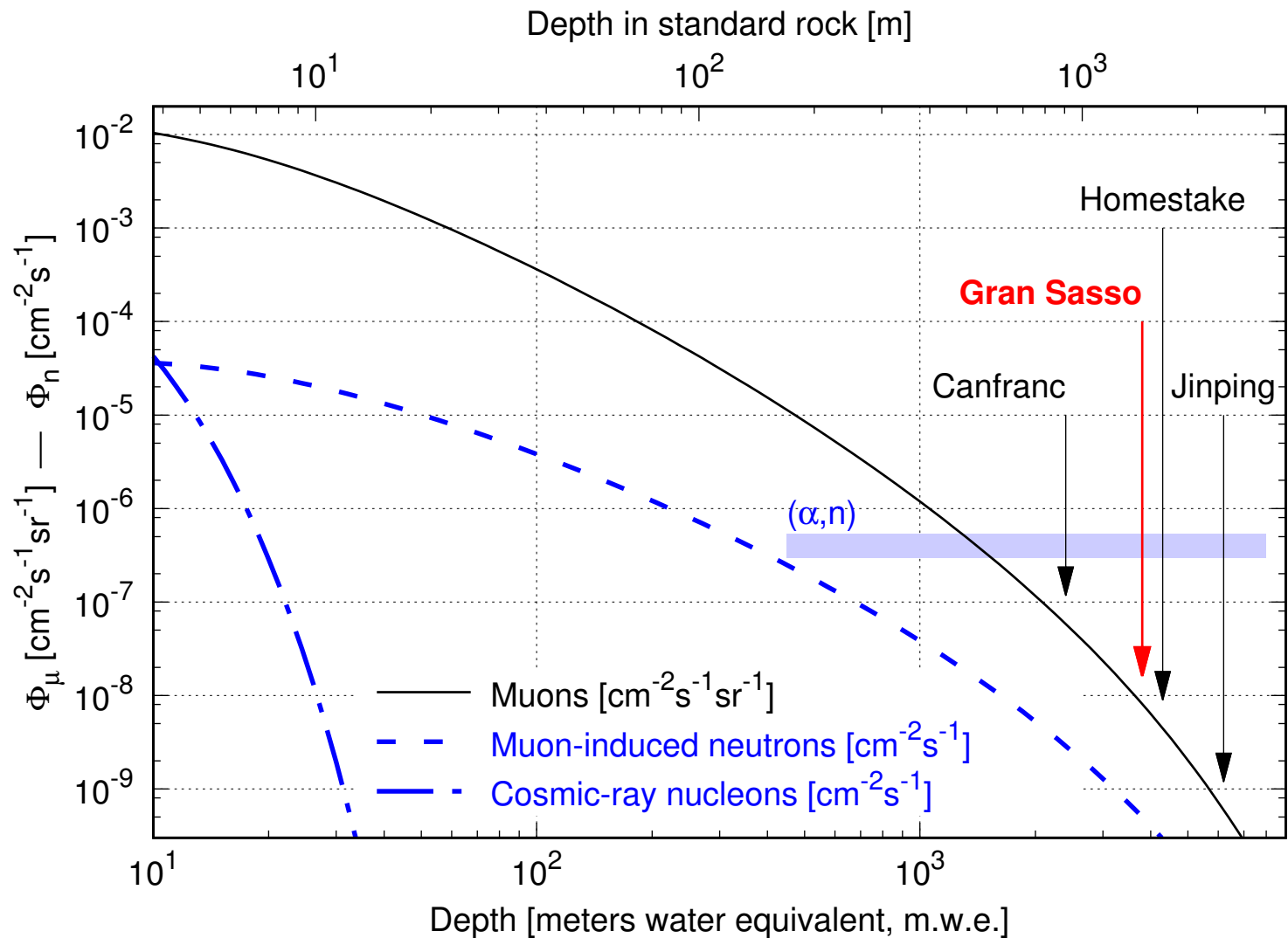


Quando i raggi cosmici colpiscono la parte alta dell'atmosfera, interagiscono con gli atomi dell'aria e generano uno sciame di particelle secondarie più leggere e di minore energia

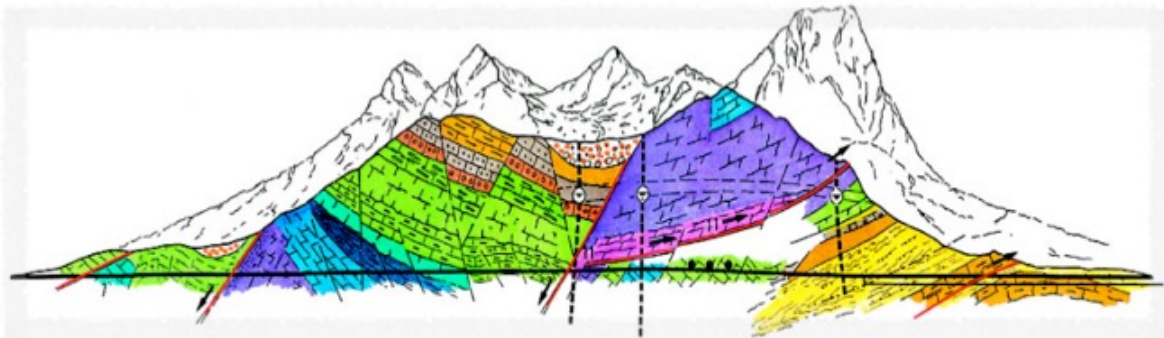
**Circa 100.000 raggi cosmici attraversano il nostro corpo ogni ora!**



# COME RIDURRE QUESTO FONDO? – LABORATORI SOTTERRANEI



# LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO

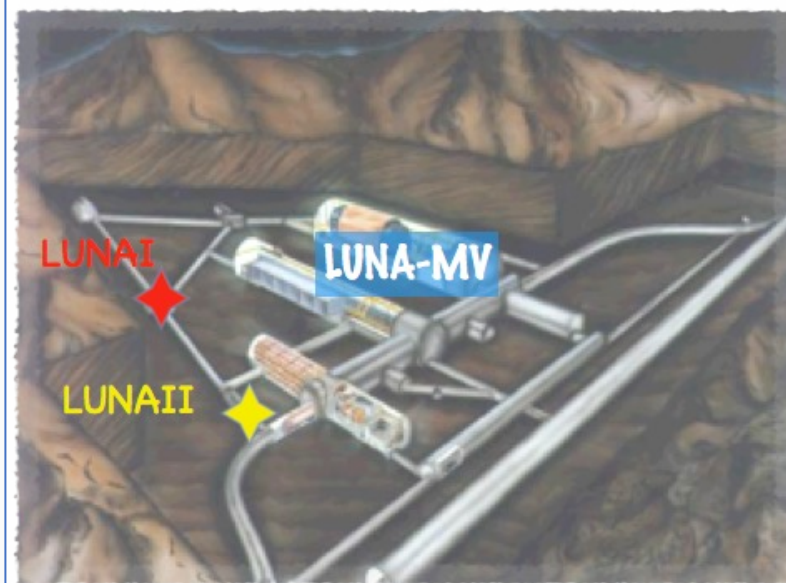


- 1400 m rock overburden (=3800 m.w.e.)
- Flux attenuation:  $n 10^{-3}$   
 $\mu 10^{-6}$
- underground area 18000 m<sup>2</sup>
  - support facilities on the surface

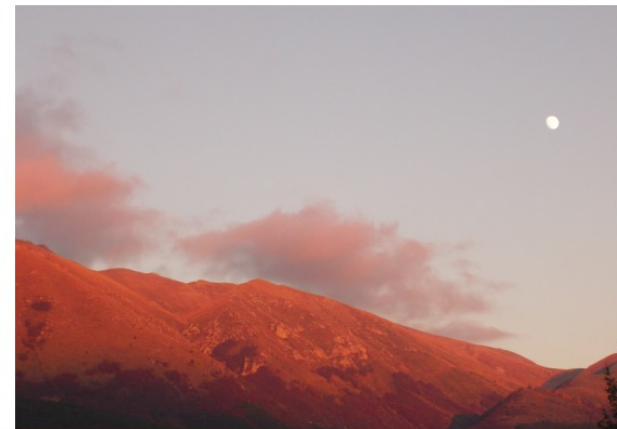
<https://www.lngs.infn.it/en>

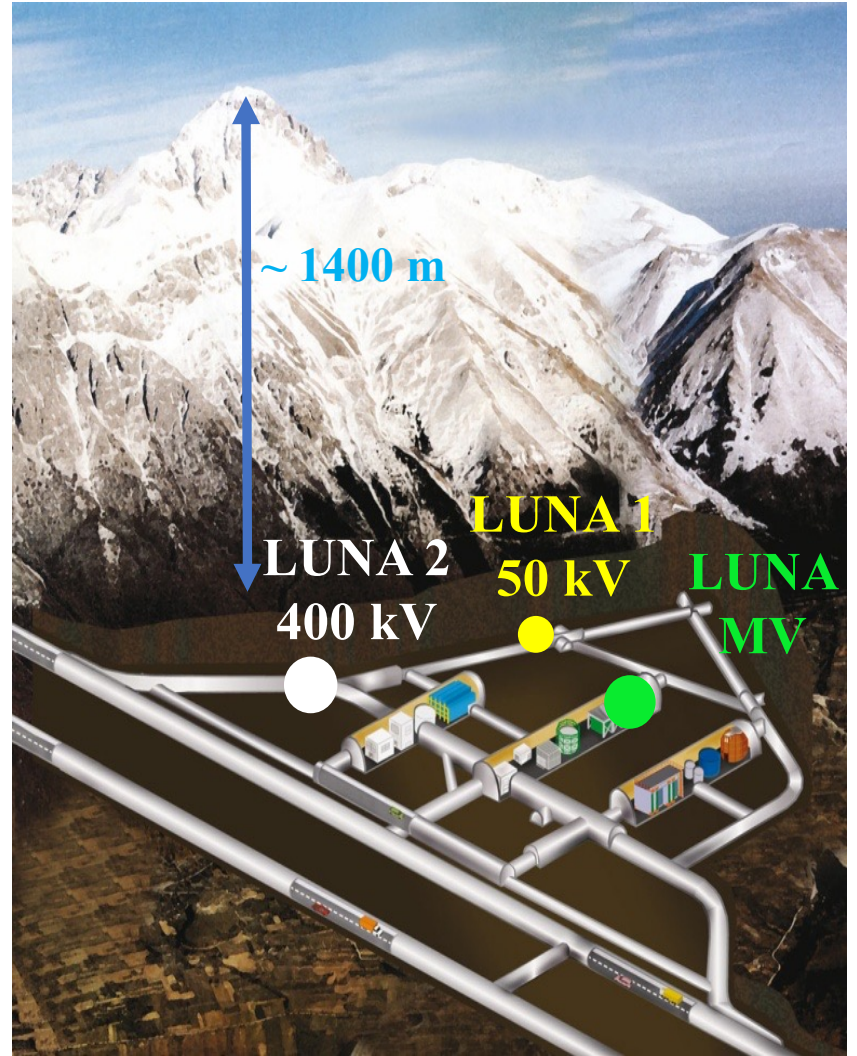
Currently 1100 scientists from 29 different Countries are taking part in the experimental activities of LNGS

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



# Gran Sasso National Laboratories





Radiation

LNGS/surface

Muons

$10^{-6}$

Neutrons

$10^{-3}$

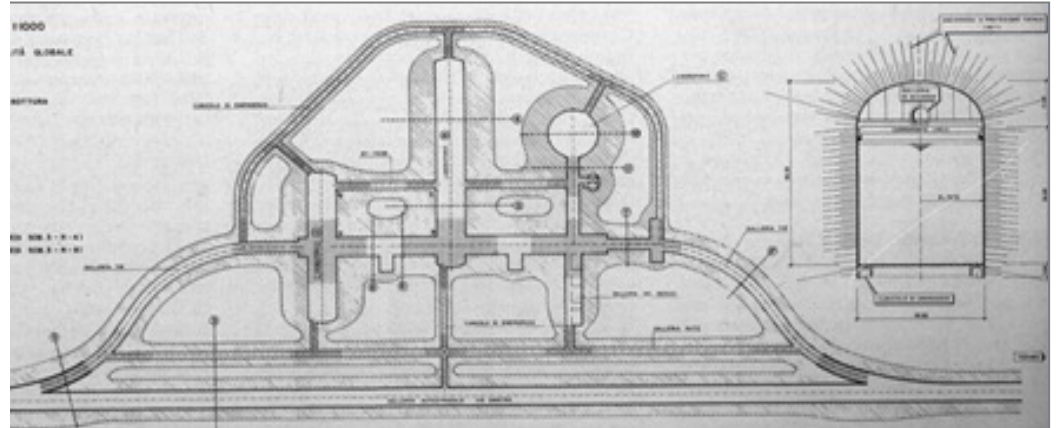
LNGS (1400 m rock shielding  $\equiv$  4000 m w.e.)

COMMISSIONE LAVORI PUBBLICI DEL SENATO



PROGETTO  
GRAN SASSO

Note manoscritte di A. Zichichi presentate nella Seduta della Commissione Lavori Pubblici del Senato convocata con urgenza dal Presidente del Senato per discutere la proposta del Progetto Gran Sasso (1979).



Antonino Zichichi

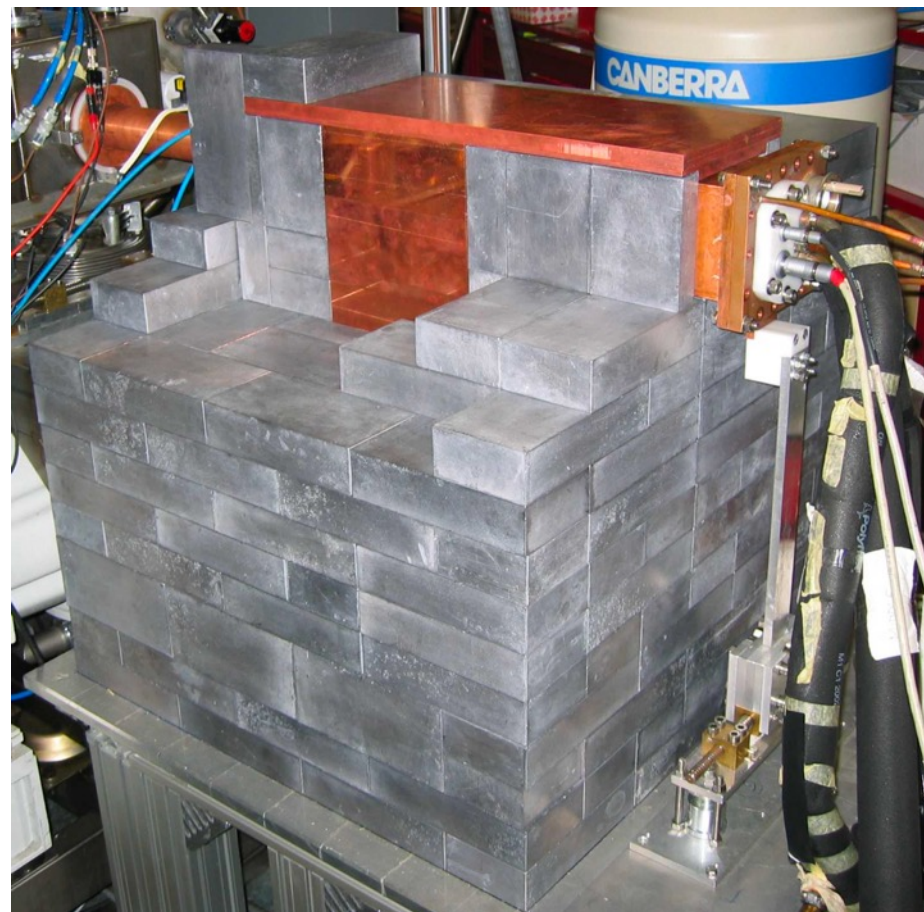
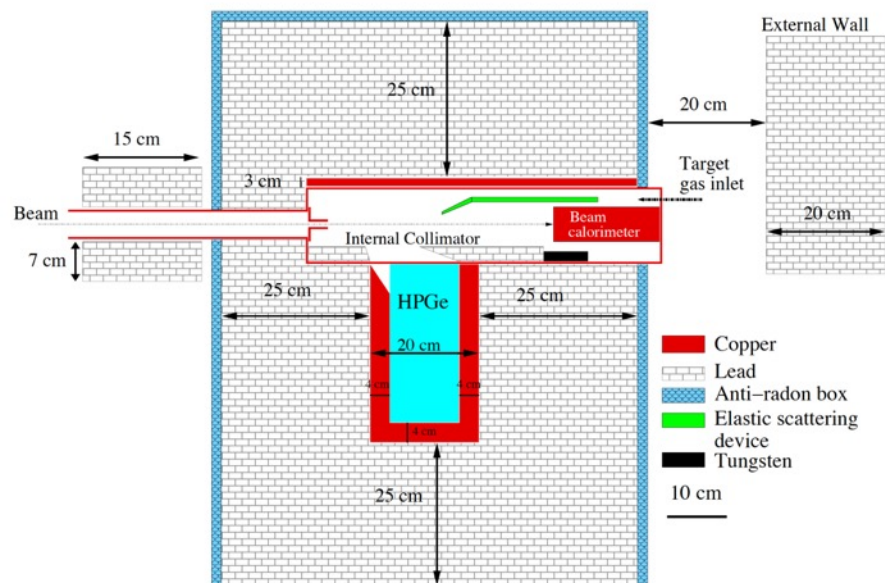
To summarize, the scientific aims of the "Gran Sasso" laboratory are the study of:

- 1) nuclear stability;
- 2) neutrino astrophysics;
- 3) new cosmic phenomenology;
- 4) neutrino oscillations;
- 5) biologically active matter;
- 6) ground stability.

Not only  
 $\tau_p \neq \infty$

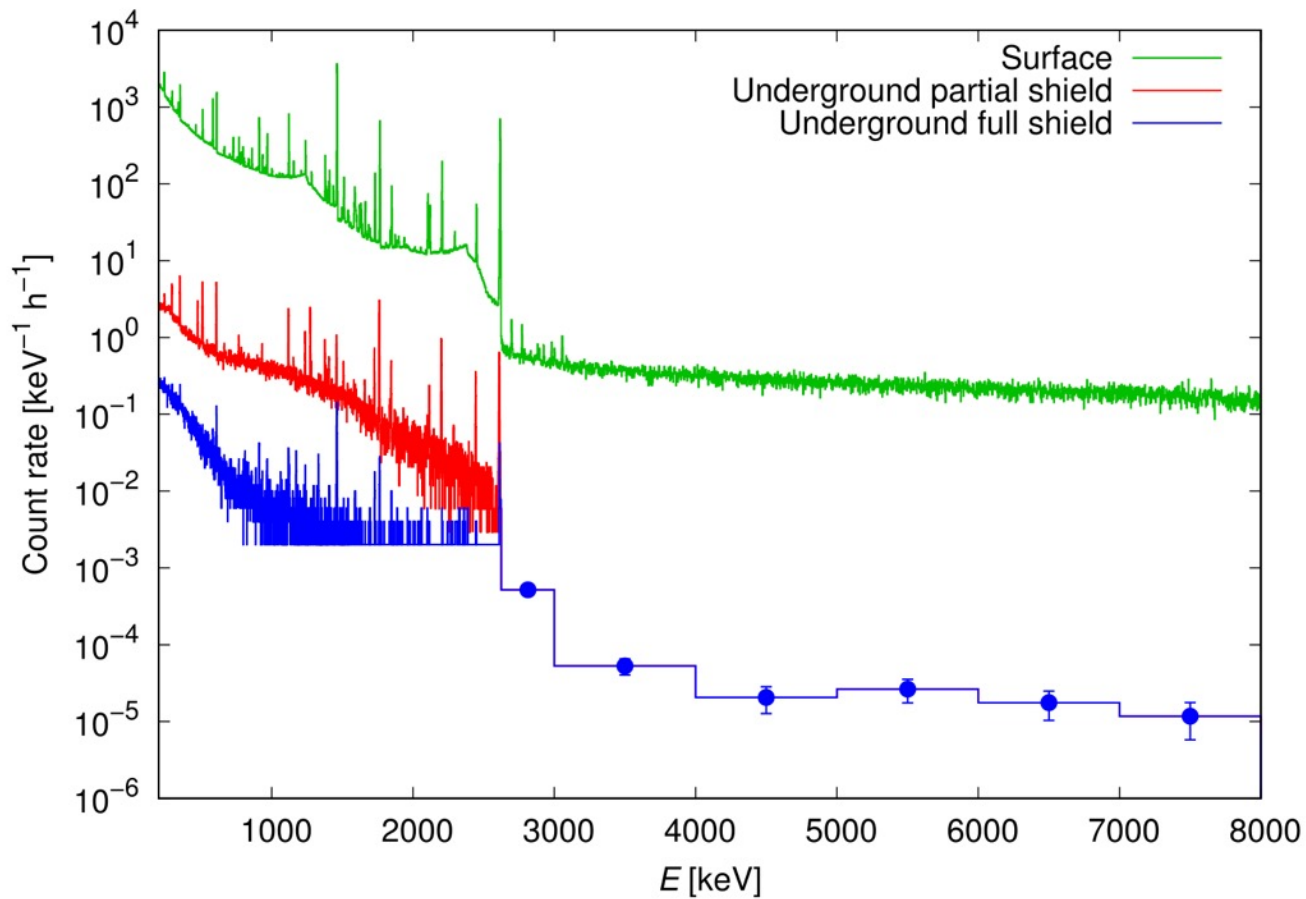
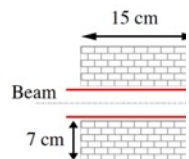
courtesy: C Broggin

# E DENTRO LA MONTAGNA? UNA SCHERMATURA EFFICACE





# UNA SCHERMATURA EFFICACE



*“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?

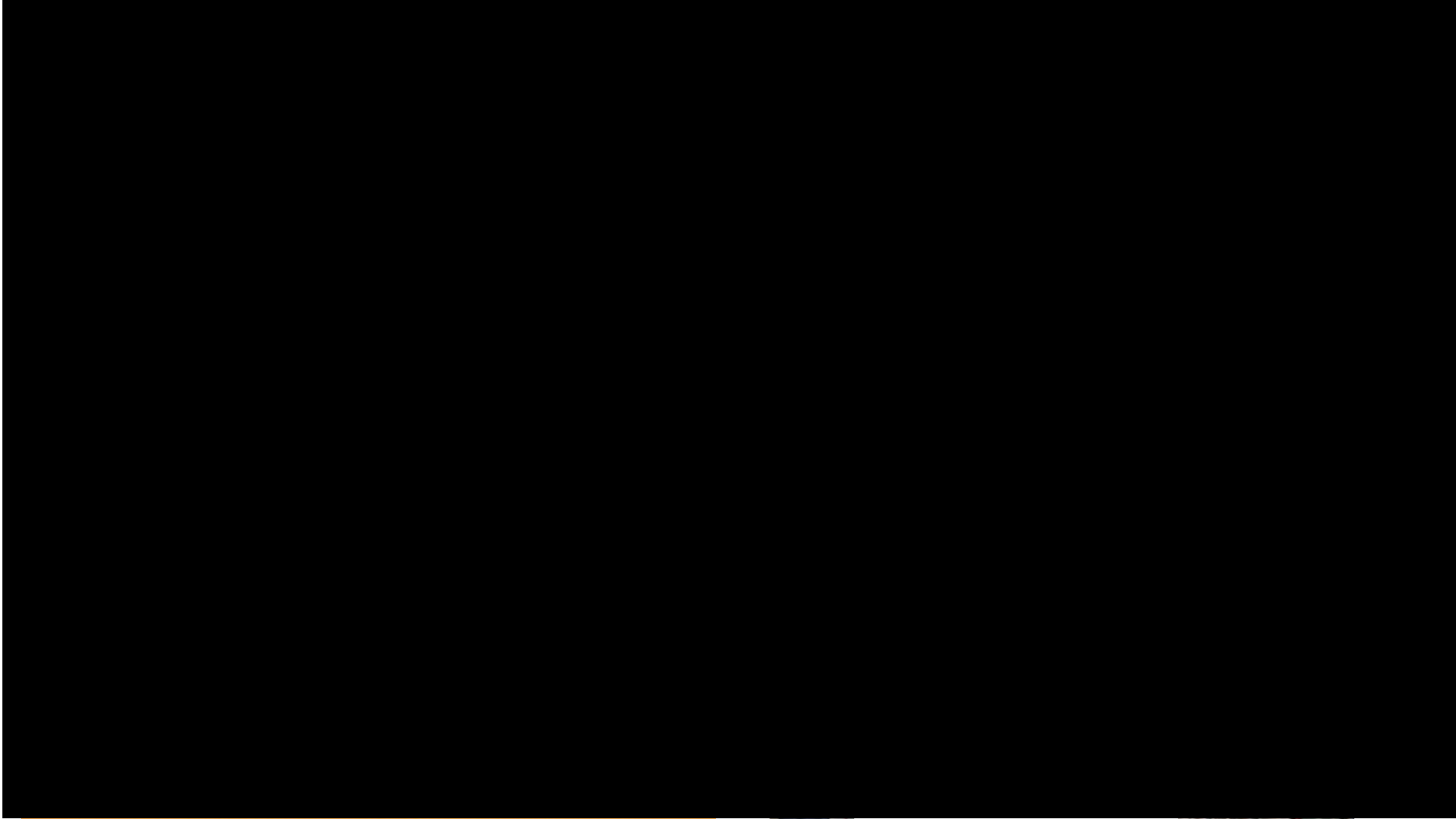
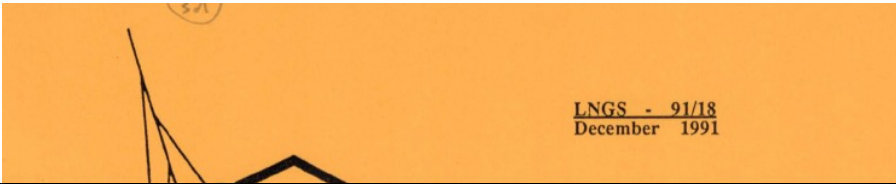


Gianni Fiorentini

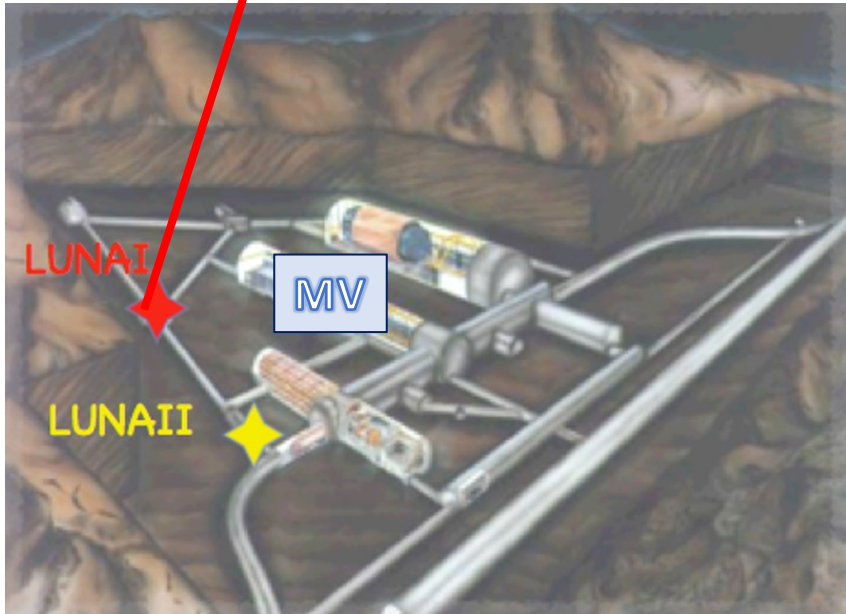
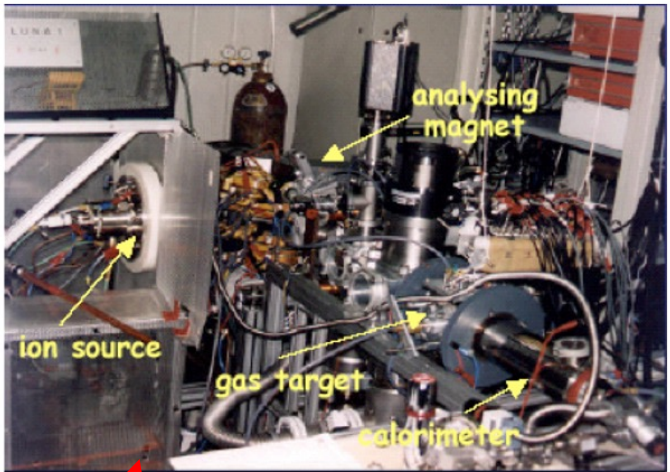
Claus Rolfs



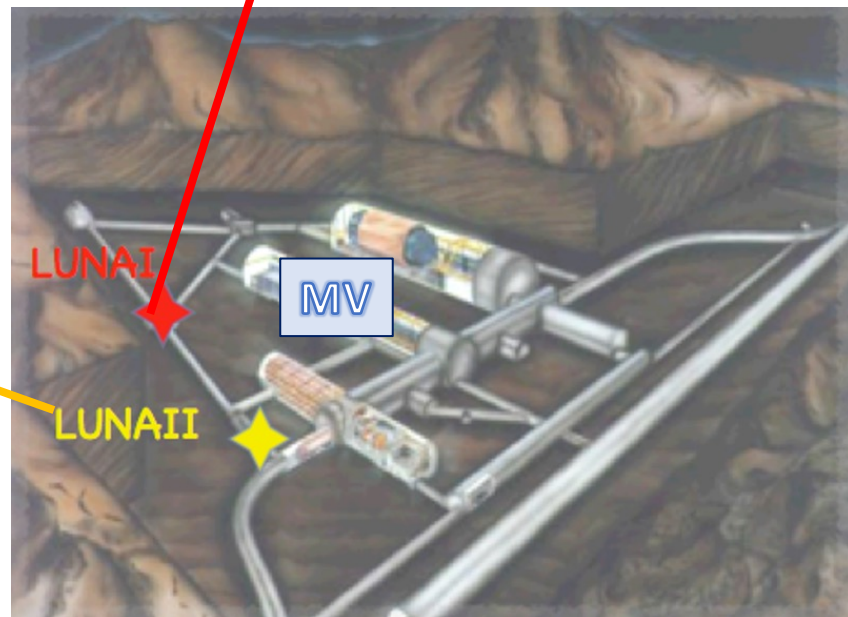
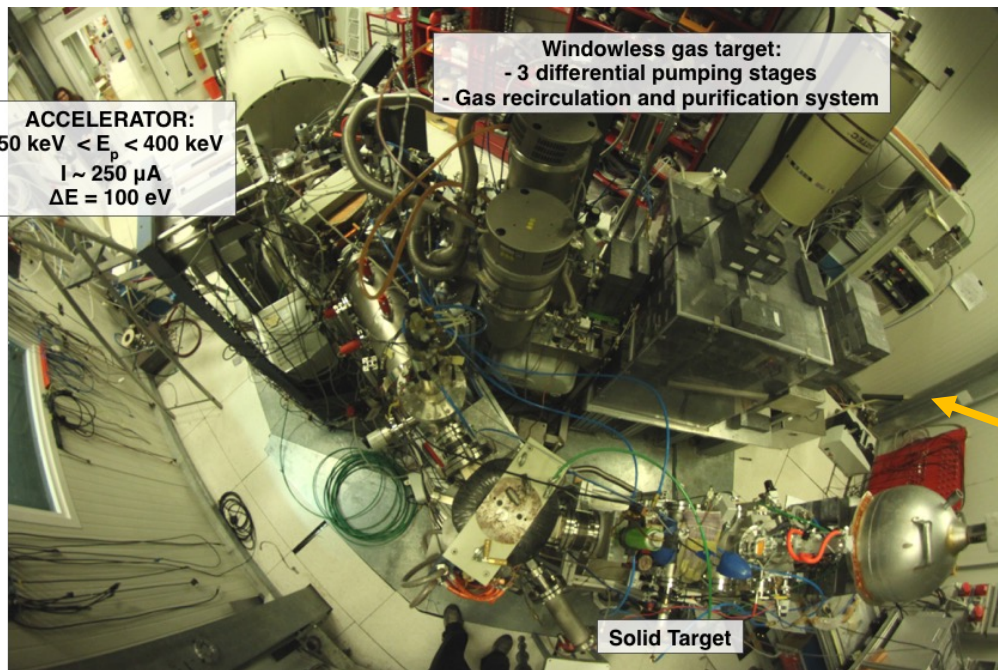
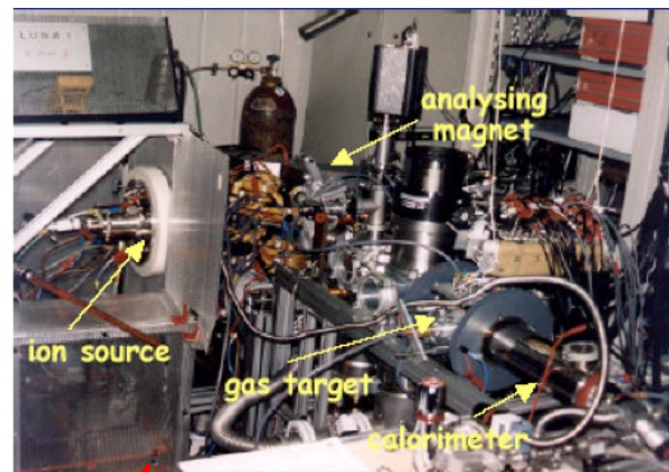
Enrico Bellotti



# LUNA: MORE THAN 30 YEARS OF UNDERGROUND NUCLEAR ASTROPHYSICS

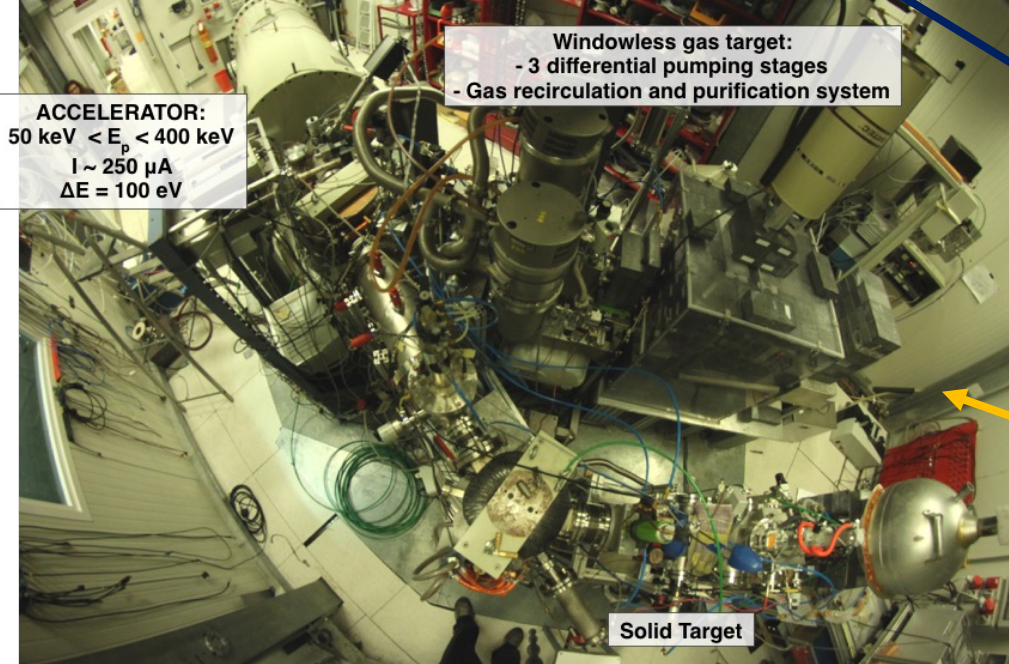
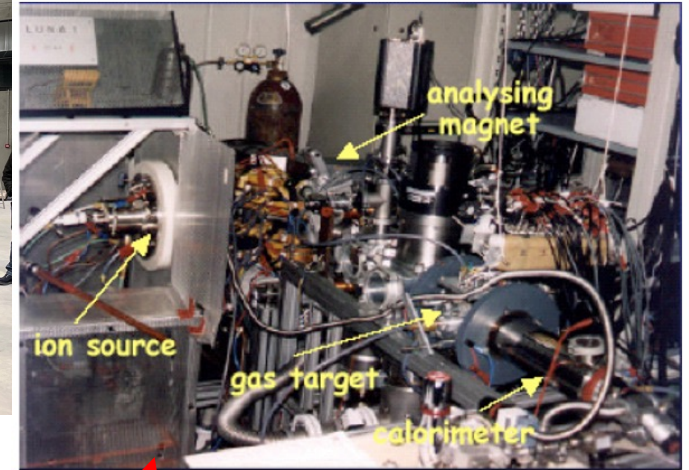
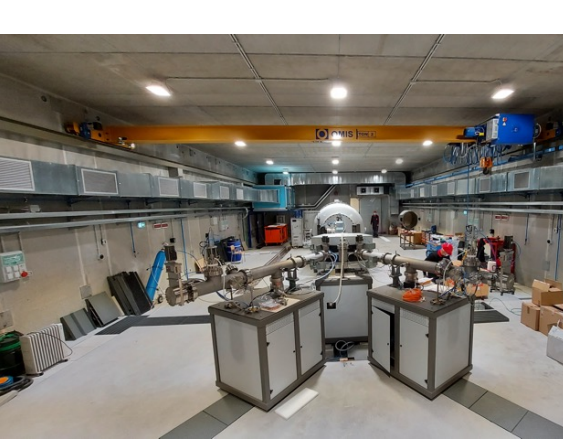


# LUNA: MORE THAN 30 YEARS OF UNDERGROUND NUCLEAR ASTROPHYSICS





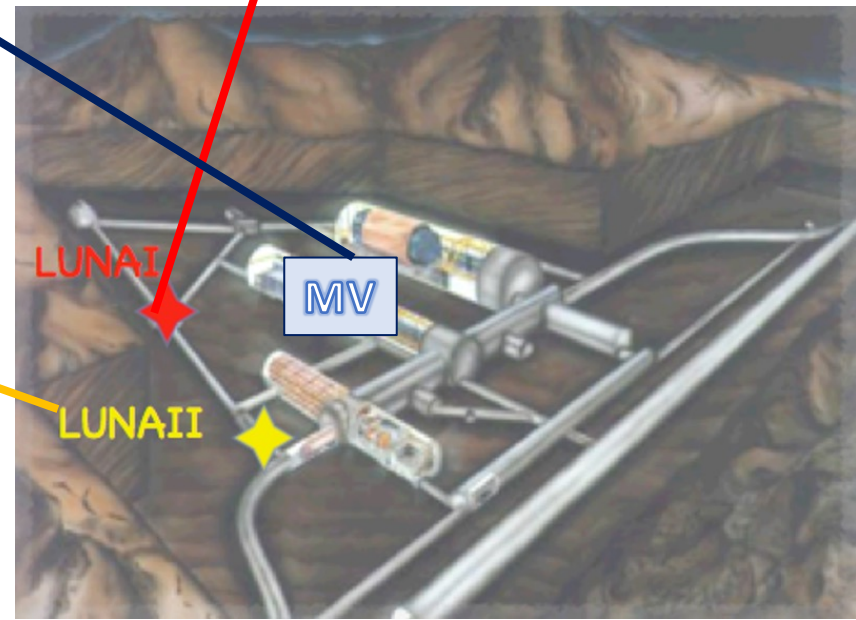
# LUNA: MORE THAN 30 YEARS OF UNDERGROUND NUCLEAR ASTROPHYSICS



**ACCELERATOR:**  
50 keV <math>E\_p</math> <math>400</math> keV  
 $I \sim 250 \mu A$   
 $\Delta E = 100 eV$

**Windowless gas target:**  
- 3 differential pumping stages  
- Gas recirculation and purification system

Solid Target

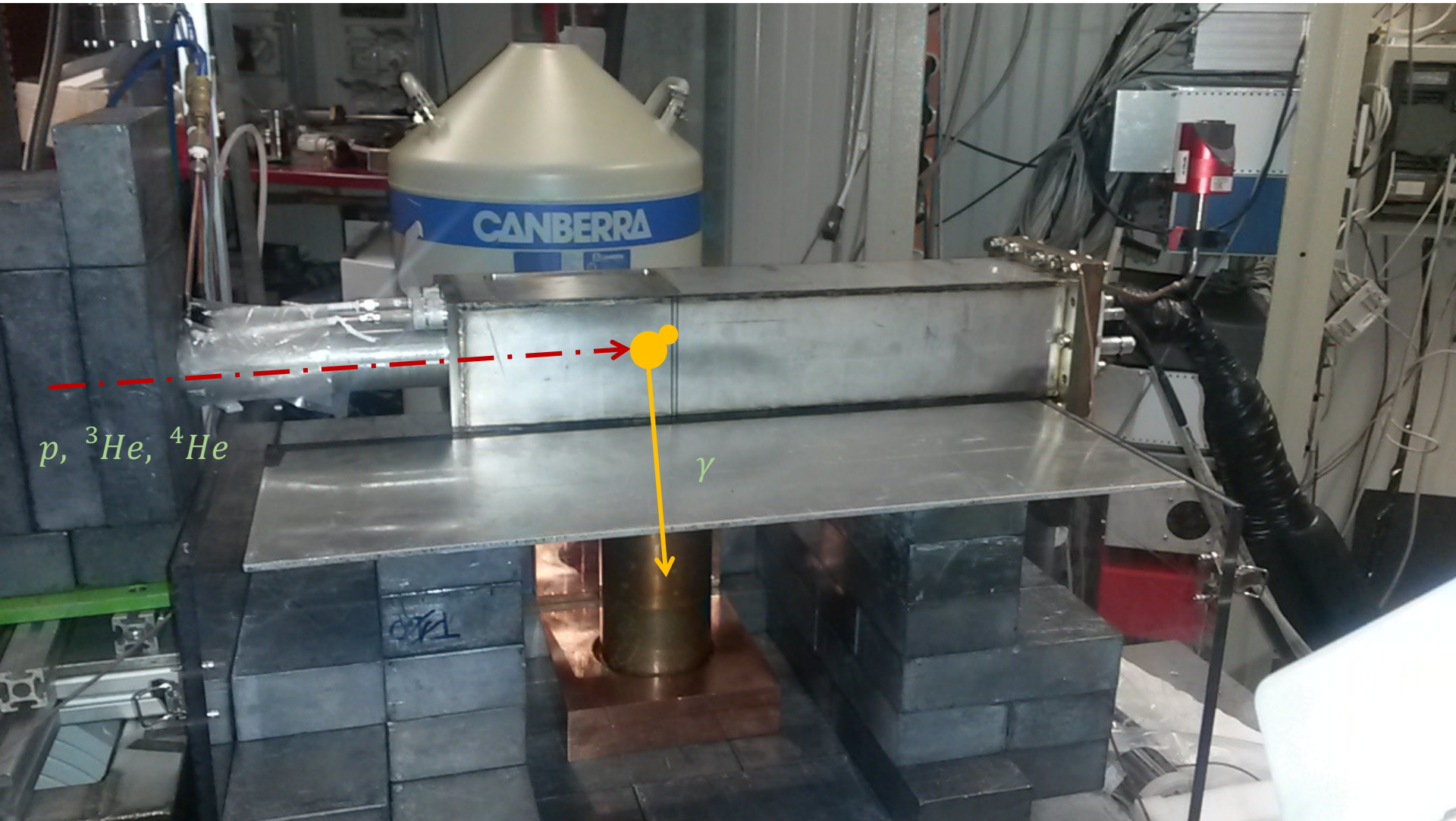


LUNAI

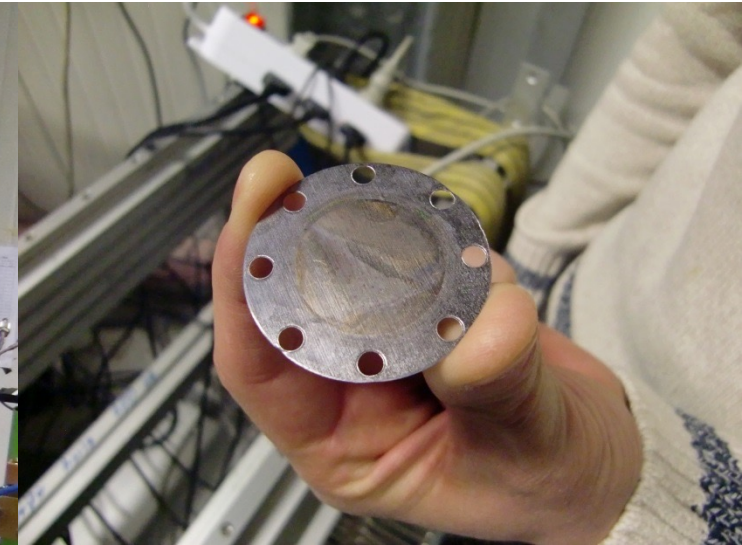
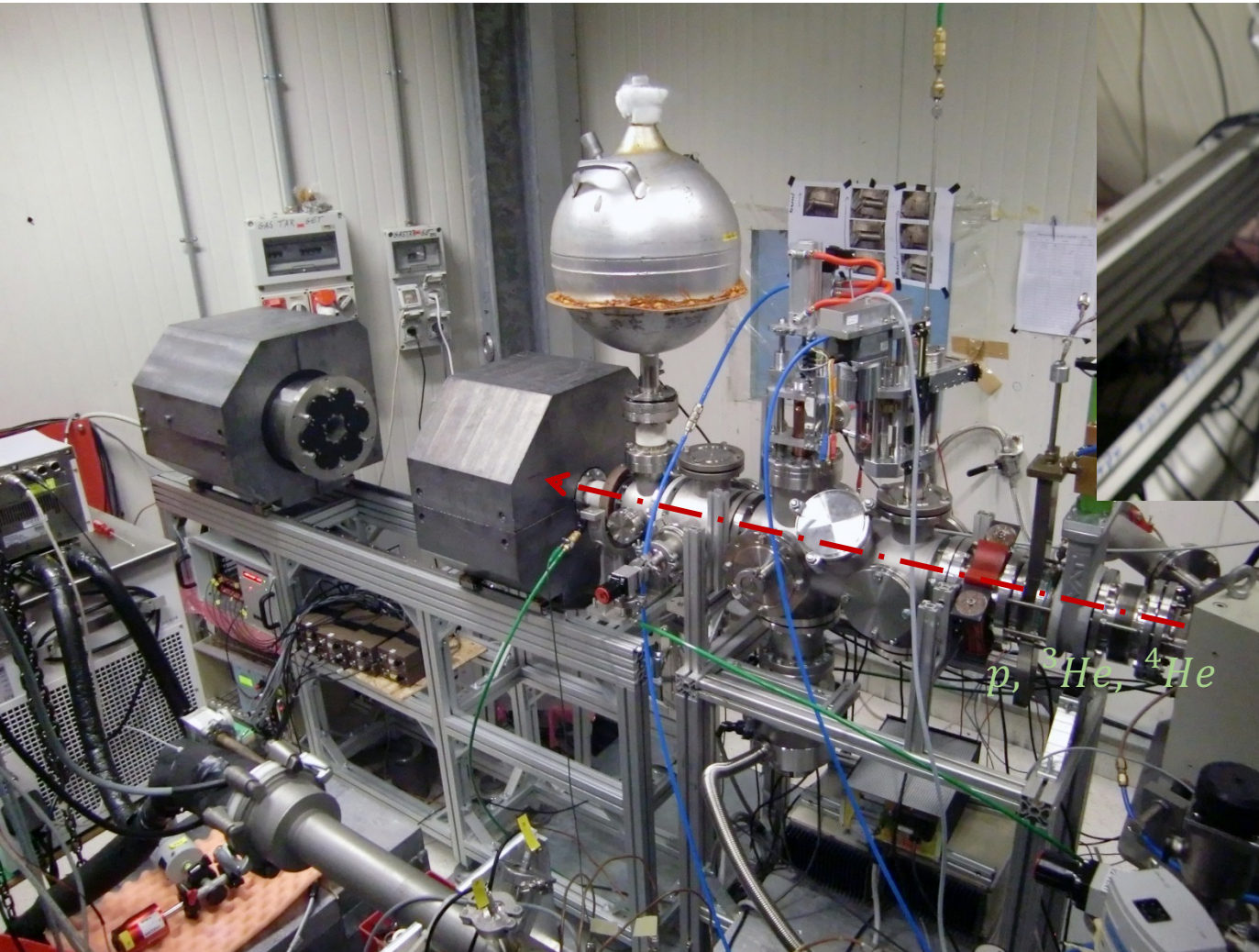
MV

LUNAII

# LUNA II GAS TARGET



# LUNA II SOLID TARGET

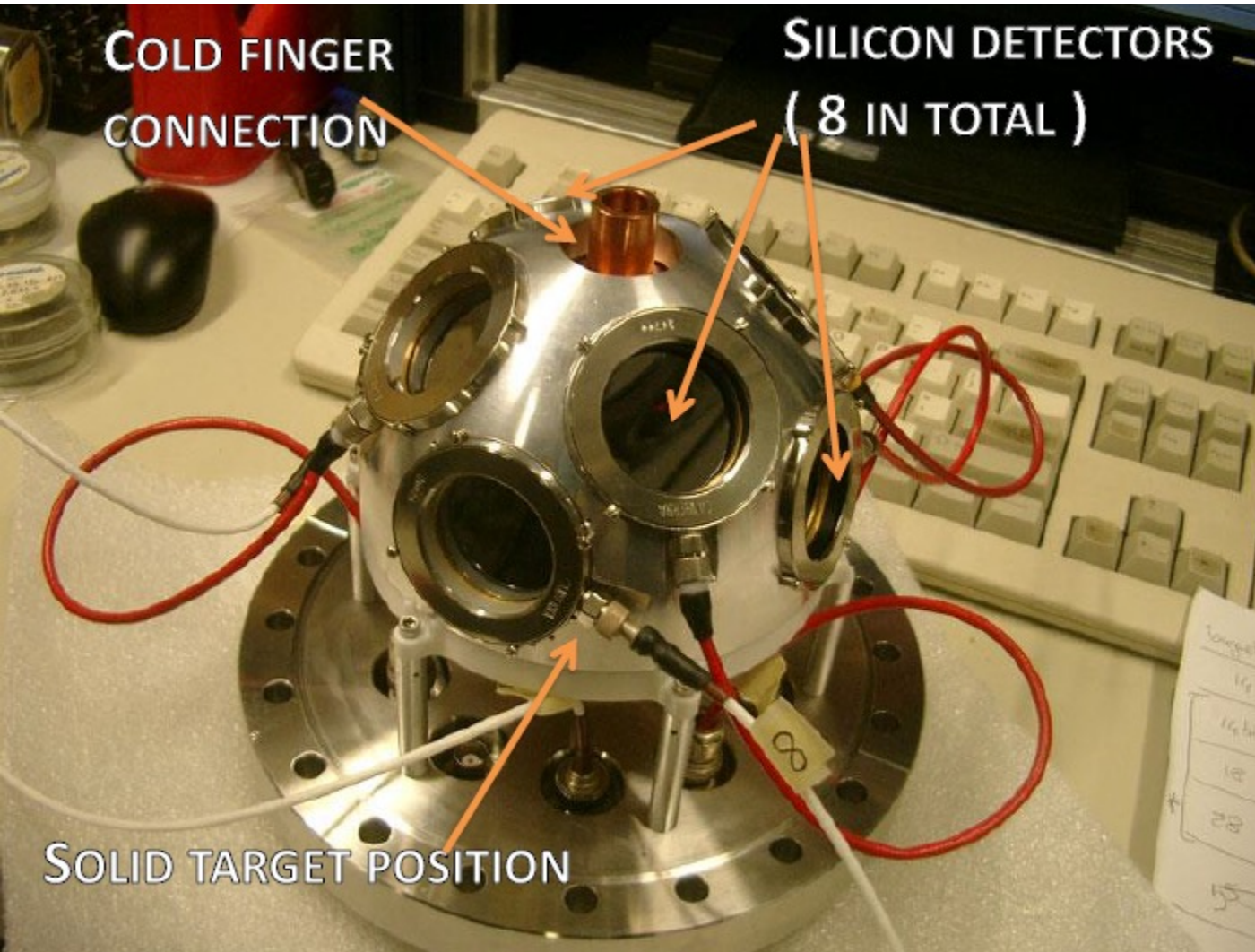


LNGS target  
production

GAMMA detector



# LUNA II SOLID TARGET



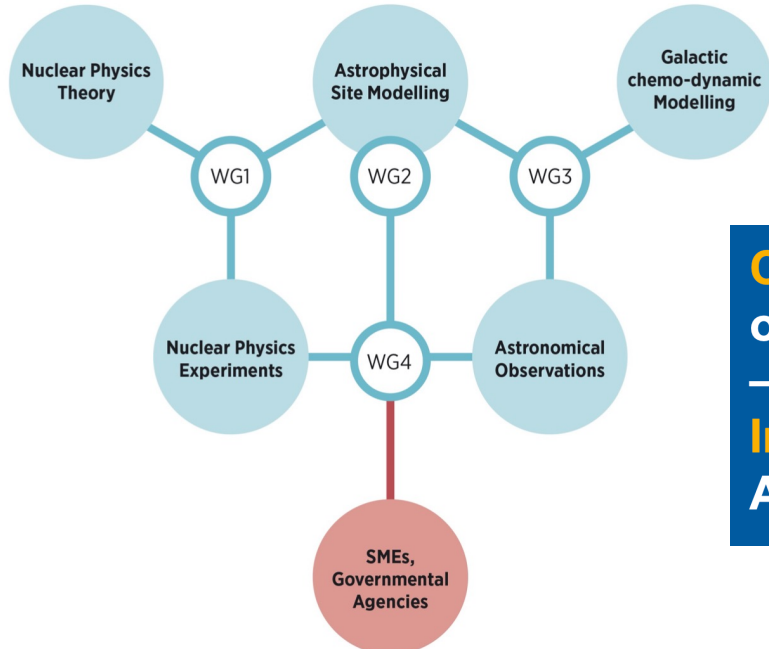
CHARGED PARTICLE  
detector

# LUNA partnerships and collaborations



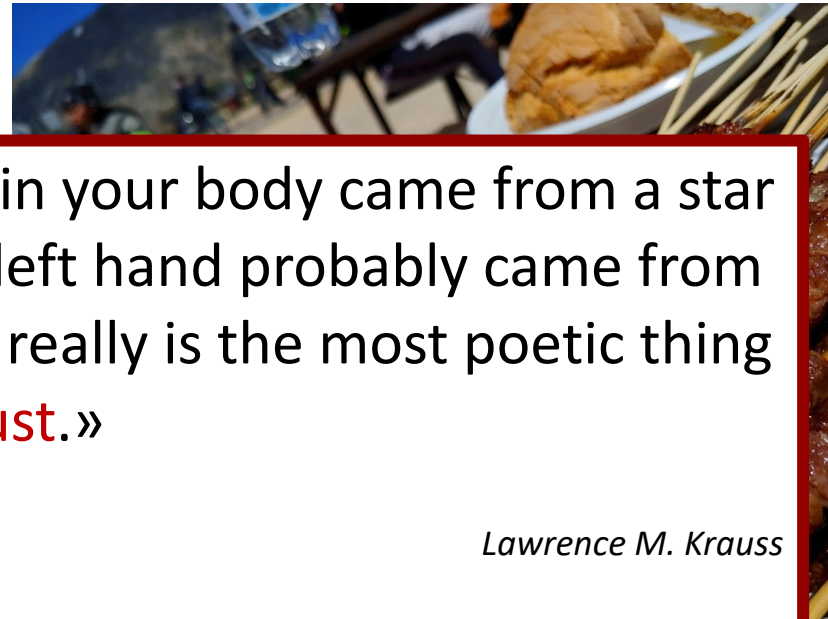
## Chemical Elements as Tracers of the Evolution of the Cosmos

A network to bring European research, science and business together to further our understanding of the early universe



**Chemical Elements as Tracers of the Evolution of the Cosmos**  
 –  
**Infrastructures for Nuclear Astrophysics**





«The amazing thing is that every atom in your body came from a star that exploded. And, the atoms in your left hand probably came from a different star than your right hand. It really is the most poetic thing I know about physics: **You are all stardust.**»

*Lawrence M. Krauss*

For more information

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

*Antonio Caciolli – antonio.caciolli@unipd.it*

