



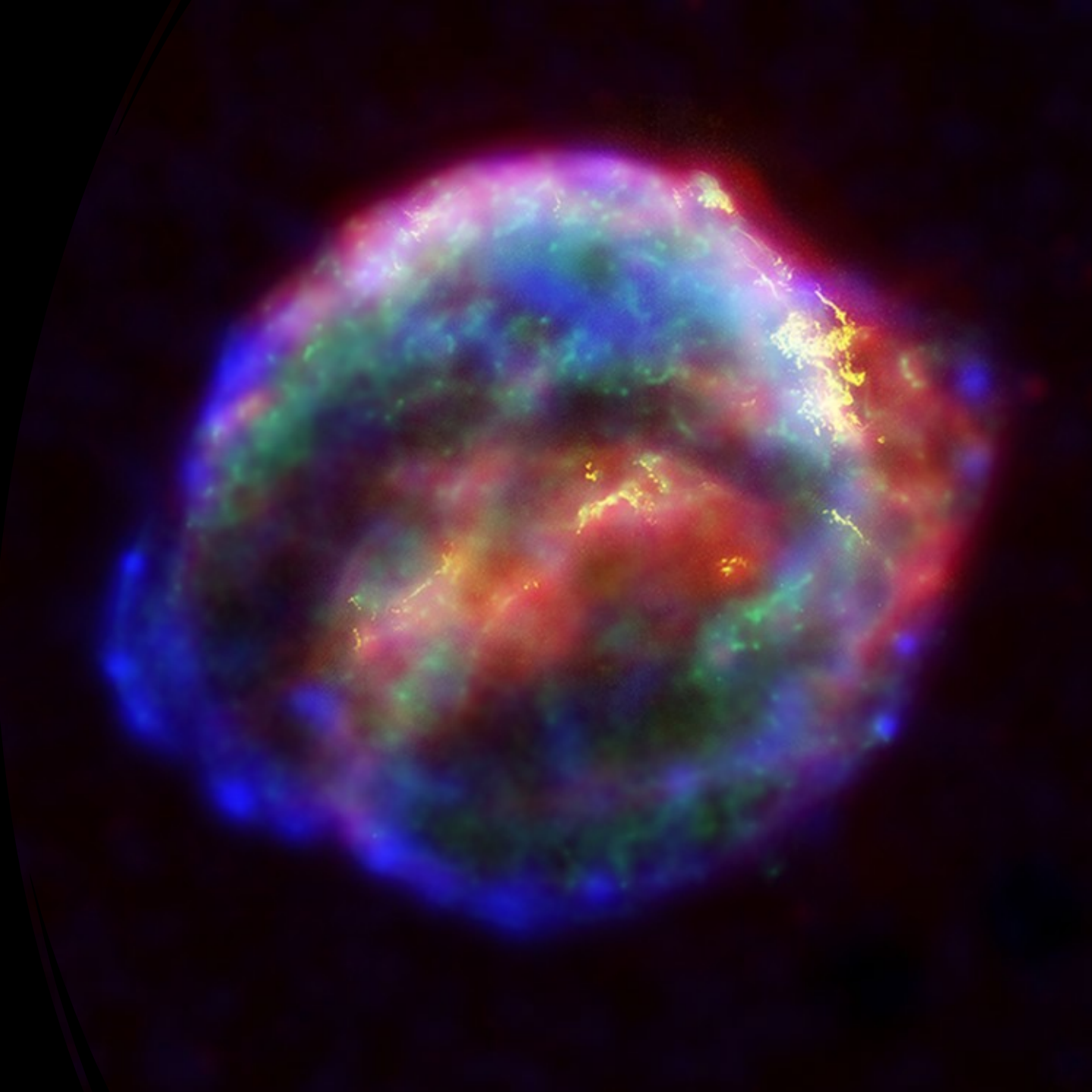
LUNN

L'Astrofisica Nucleare Underground ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso

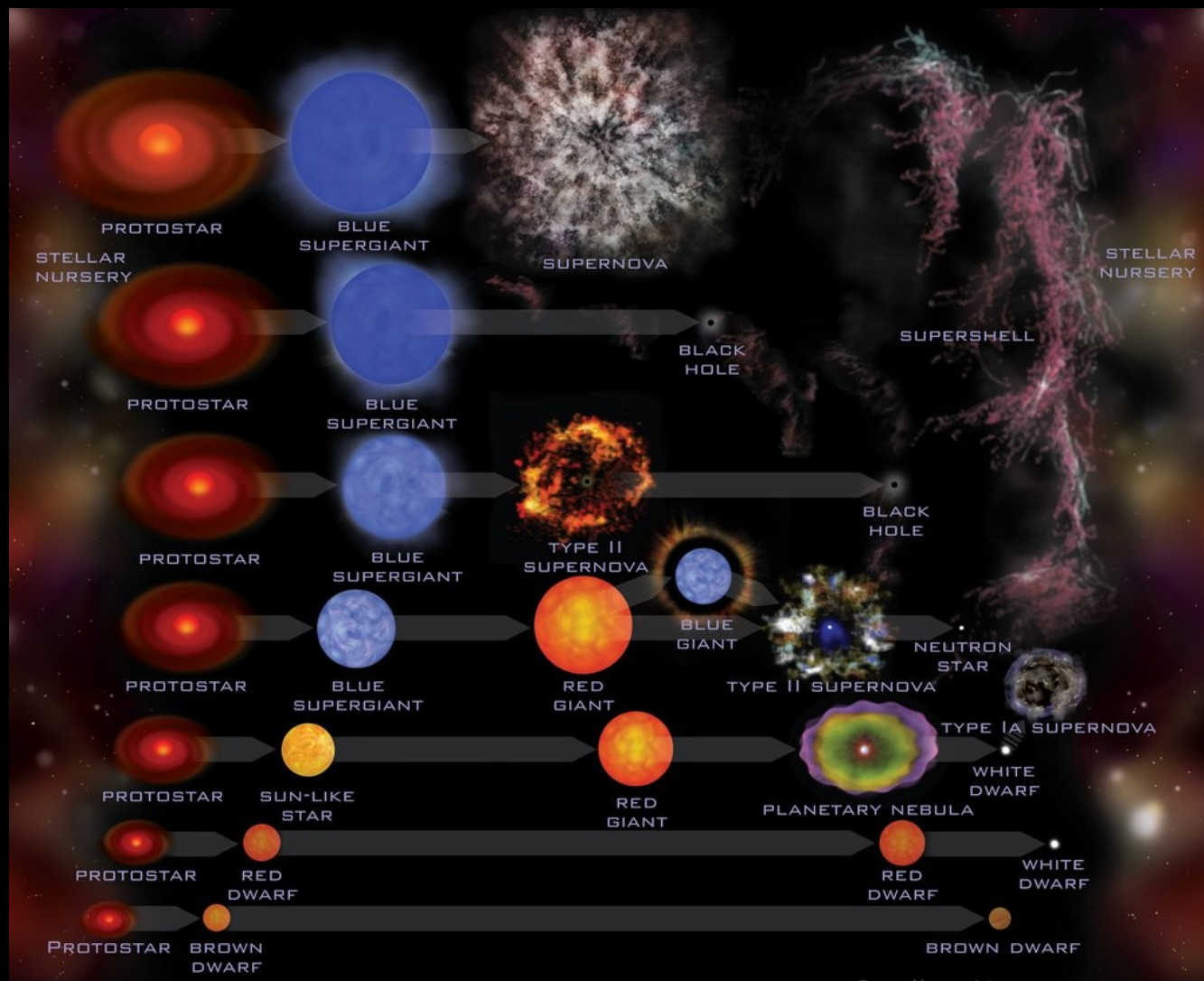
Programma INFN per Docenti

L'astrofisica nucleare

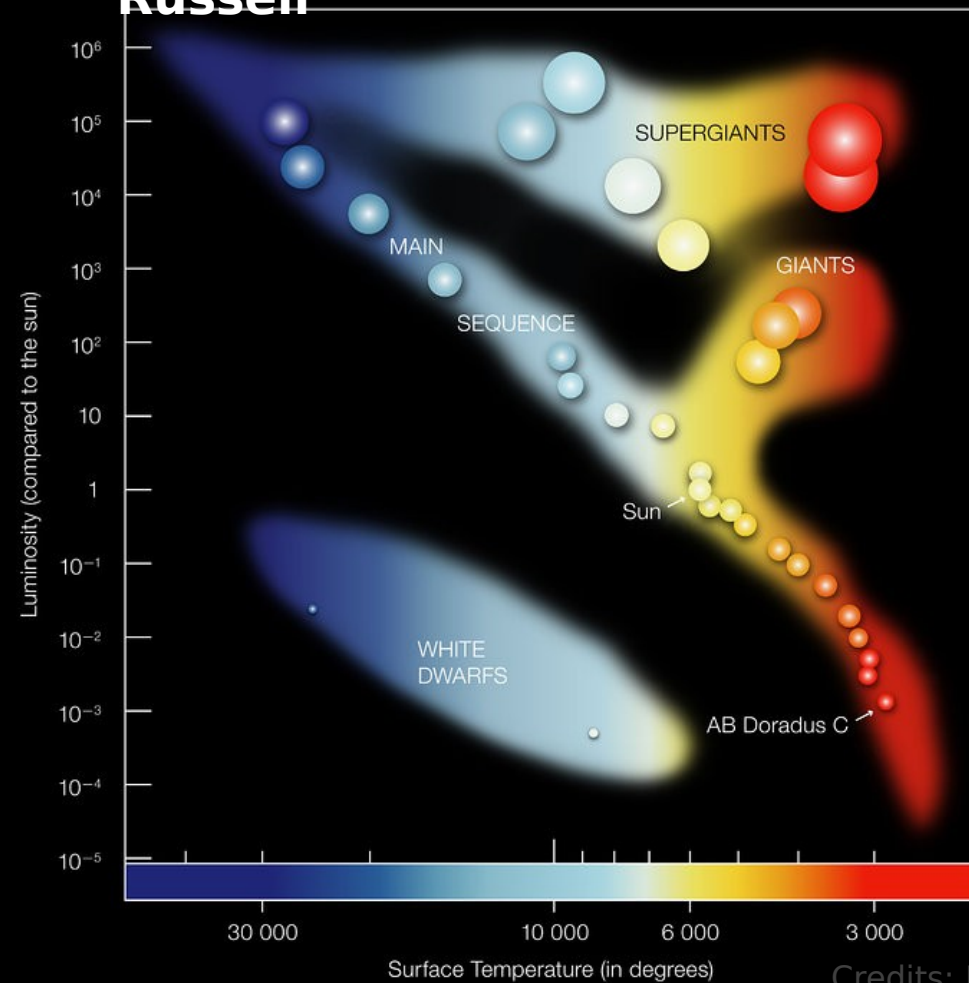
- Da dove vengono gli elementi della tavola periodica?
- Come si formano ed evolvono le stelle?



Evoluzione stellare

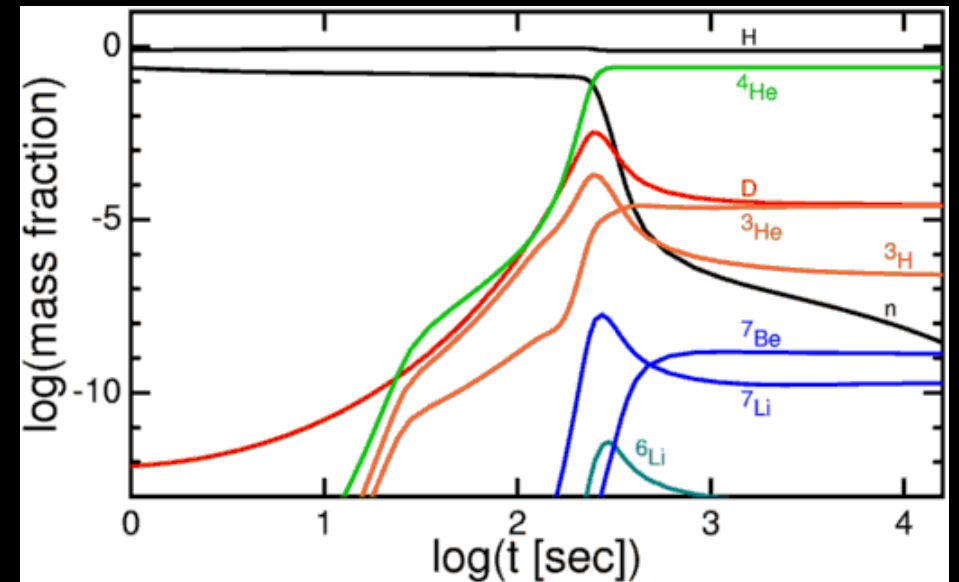
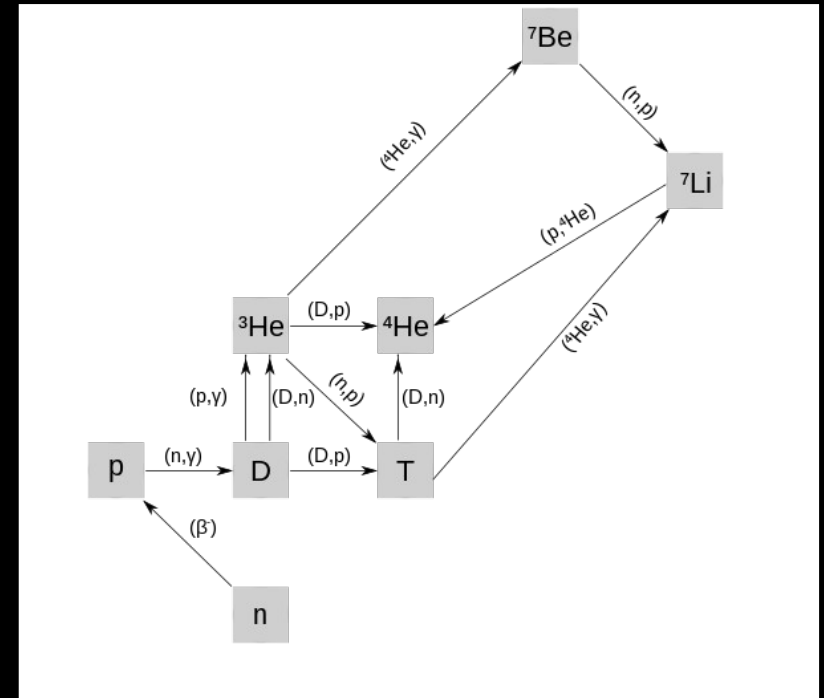
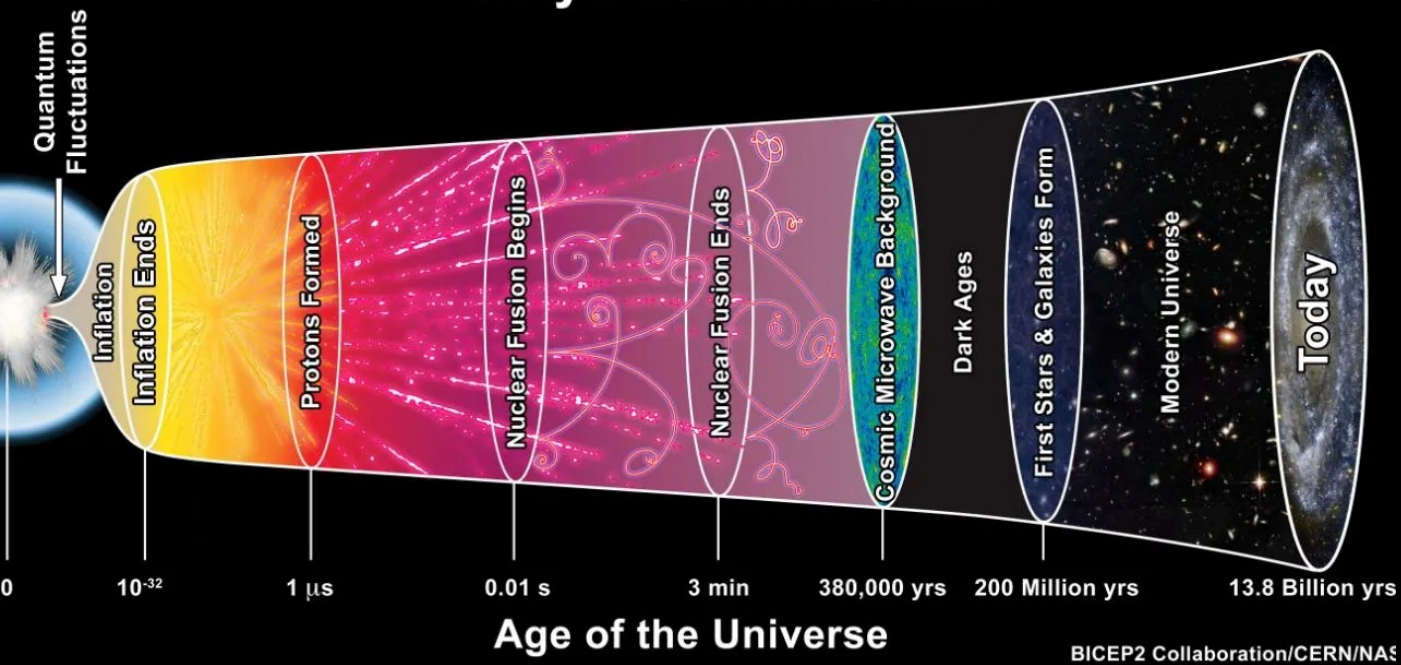


Il diagramma Hertzsprung-Russell



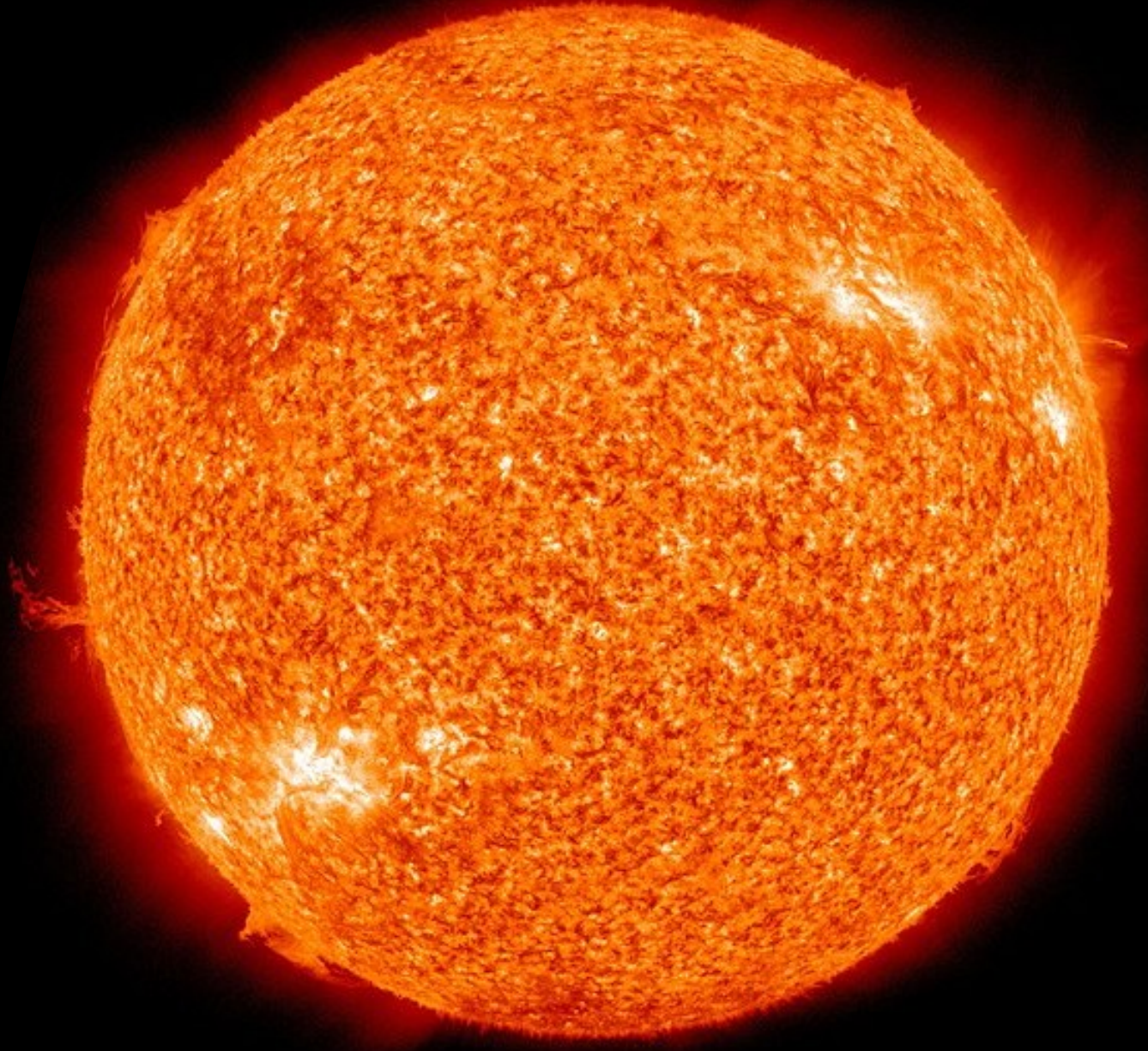
Nucleosintesi primordiale: 3 Minuti dopo il Big Bang

History of the Universe

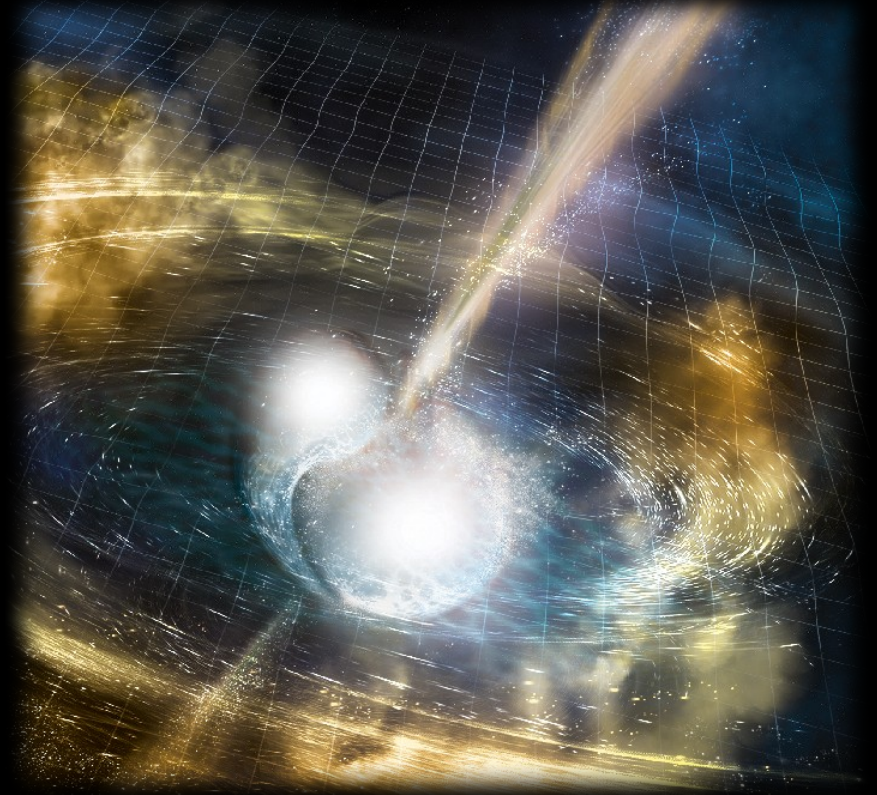


Il Sole:

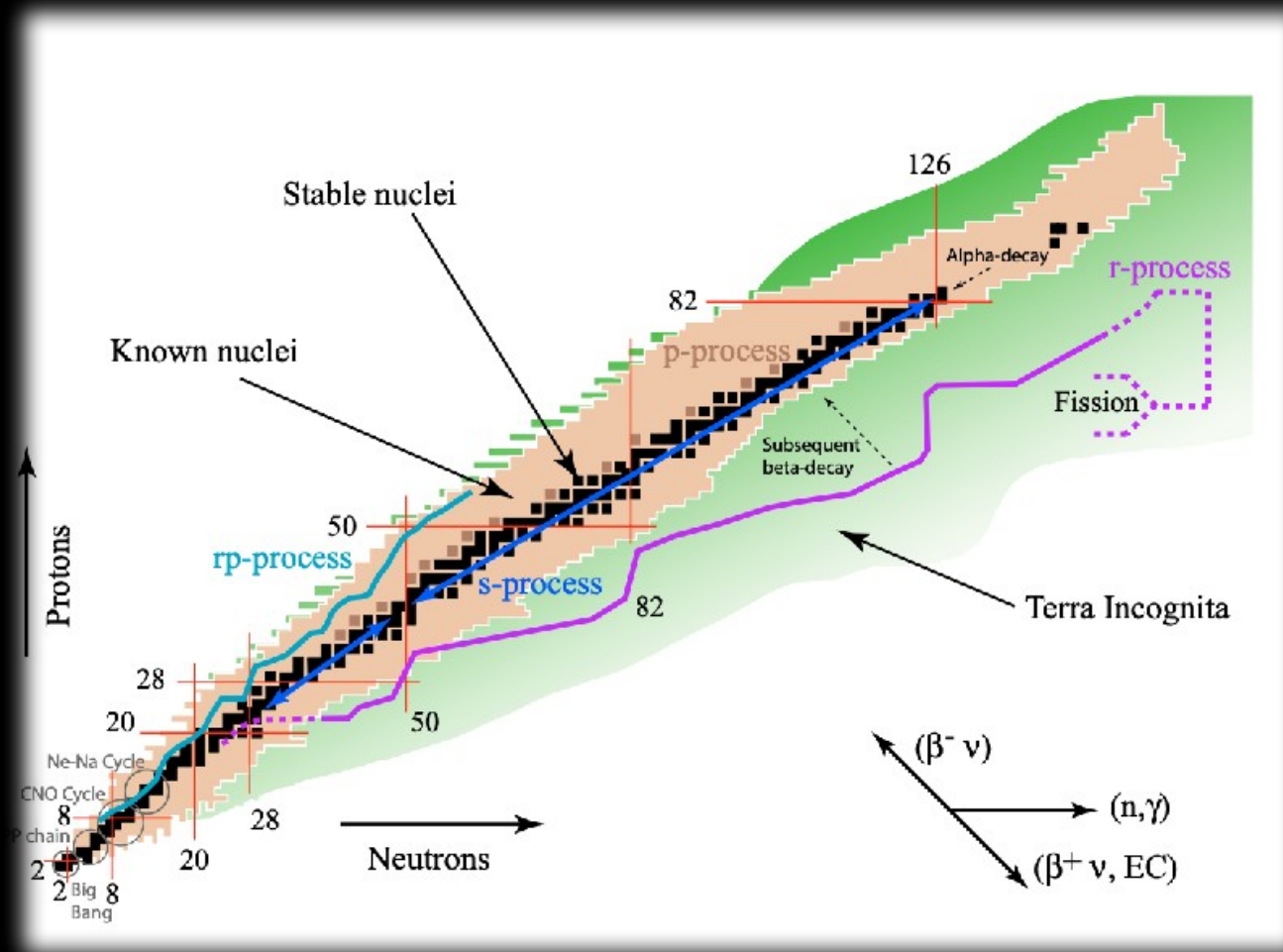
- **Massa:** 2×10^{30} kg = 335.000 masse terrestri
- **Diametro:** 1,4 milioni di km = 109 diametri terrestri
- **Età (Valore approssimativo):** 4.600 milioni di anni
- **Temperatura superficiale:** Circa 5.500 °C (5.800 K)
- **Temperatura al centro:** Circa 14 milioni di gradi
- **Composizione:** 74,5% Idrogeno, 23,5% Elio e 2% Elementi pesanti, quali: Ossigeno, Carbonio e Azoto









La Nucleosintesi degli elementi pesanti: l's-process e r-process



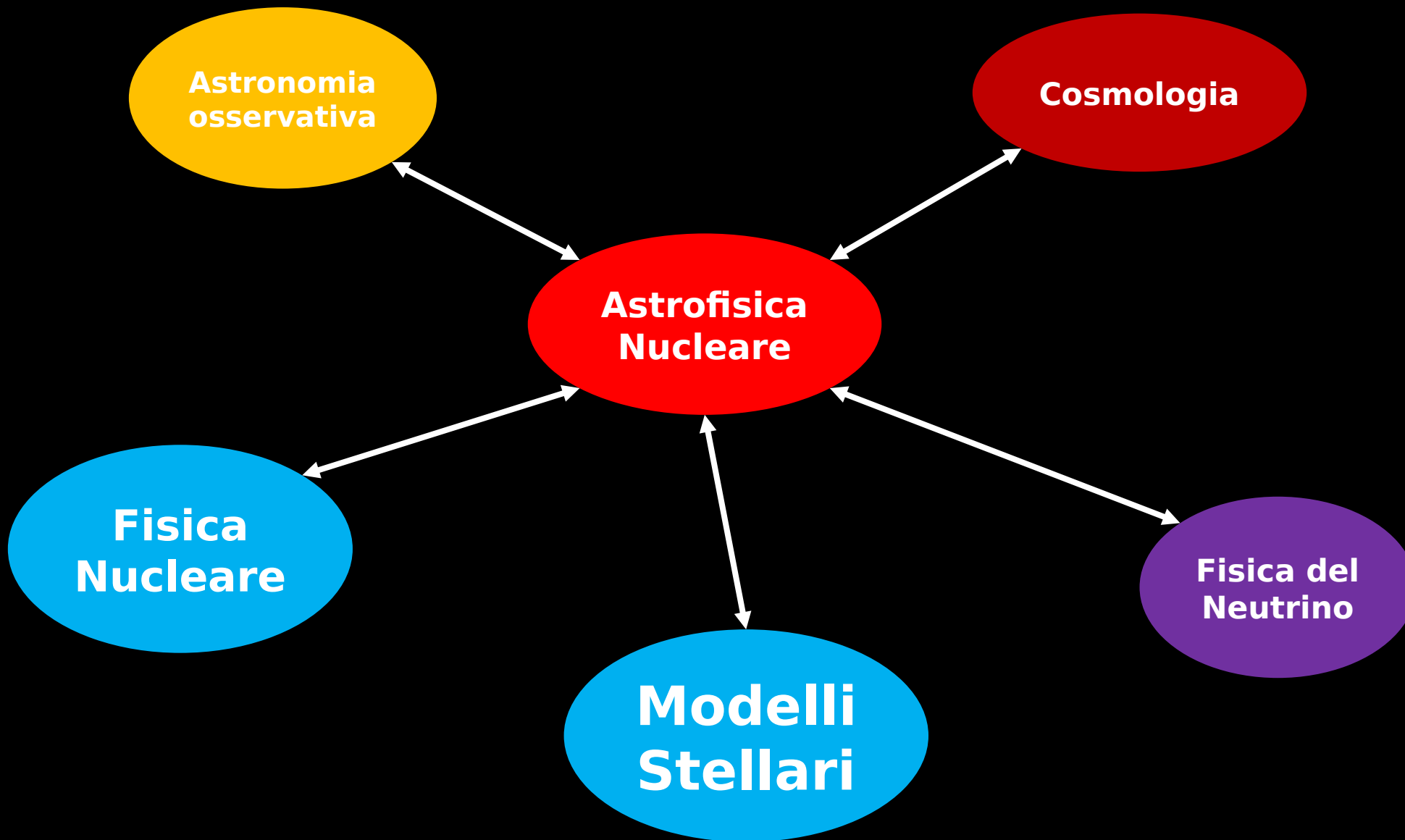
La Nucleosintesi degli elementi pesanti: l's-process e r-process



The Origin of the Solar System Elements

1 H	big bang fusion 										cosmic ray fission 						2 He						
3 Li	4 Be	merging neutron stars 										exploding massive stars 						5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	dying low mass stars 										exploding white dwarfs 						13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra																						
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu						
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U																	

Credits: Jennifer Johnson



L'astrofisica nucleare sperimentale

- Come riprodurre in laboratorio ciò che accade nelle stelle?



Come riprodurre ciò che accade nelle stelle?

ACCELERATORE

Una corrente molto intensa
Significa tanti nuclei proiettile

BERSAGLIO



Alta densità:
Più è denso e puro il bersaglio maggiore è il numero di nuclei bersaglio

PRODOTTI DI REAZIONE

$\alpha, p, n, \gamma \dots$



RIVELATORE

→ Alta efficienza per contare il maggior numero di particelle prodotte

Come riprodurre ciò che accade nelle stelle?

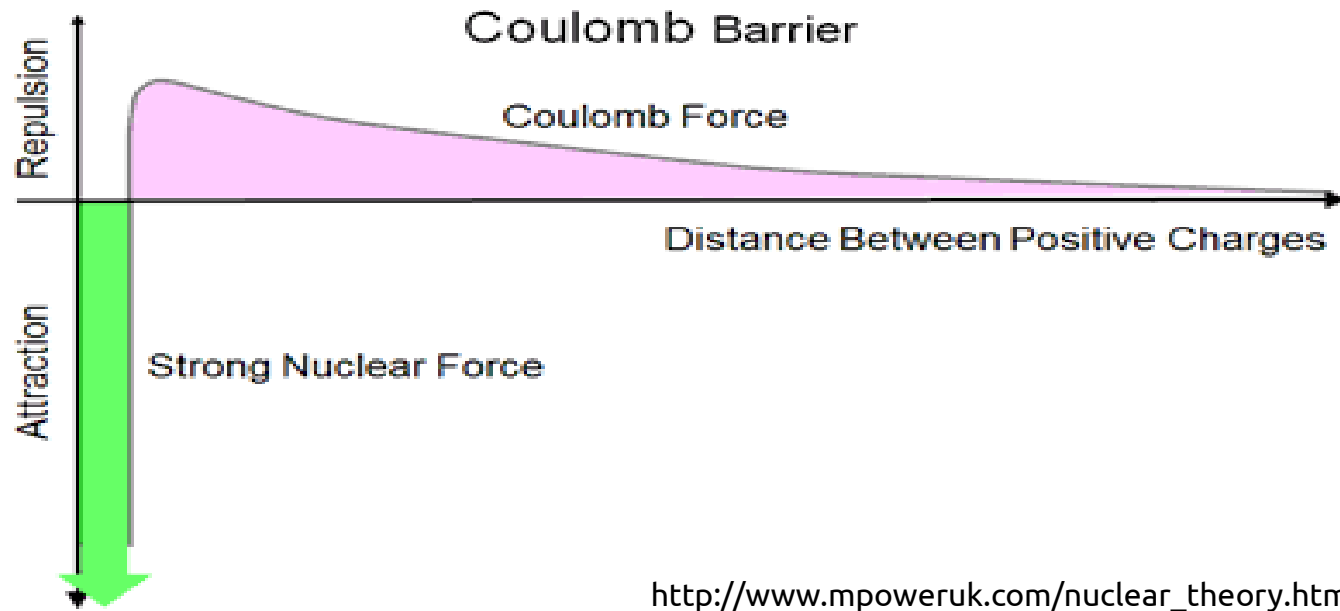
$$R_{lab} = \epsilon \times N_t \times I_p \times \sigma$$

- ϵ : **Efficienza** (1-10% per fotoni, ~100% per particelle cariche)
- N_t : Numero di target bersaglio (~ 10^{18} atomi/cm² se bersaglio solido)
- I_p : Corrente di **fascio** (fino a mA, o 10^{15} pps) conteggi/mese $< R_{lab} <$
- σ : **Sezione d'urto** (10^{-36} - 10^{-39} cm²) conteggi/giorno

Ma non basta aspettare...

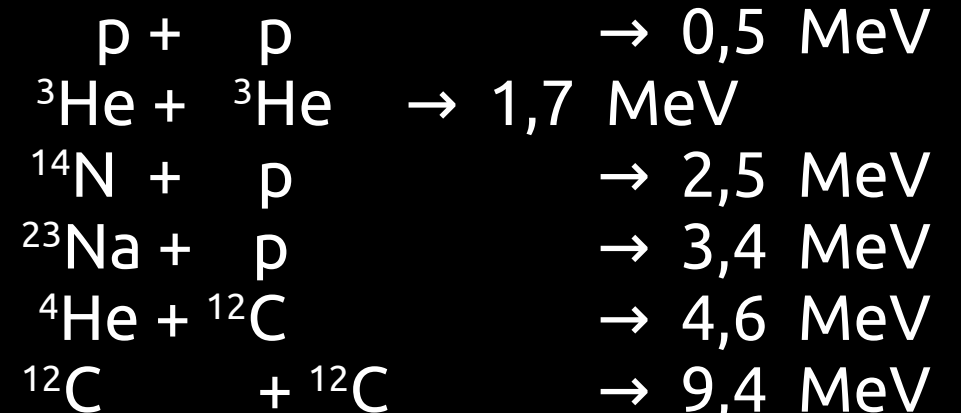


Nuclear Fusion Reactions

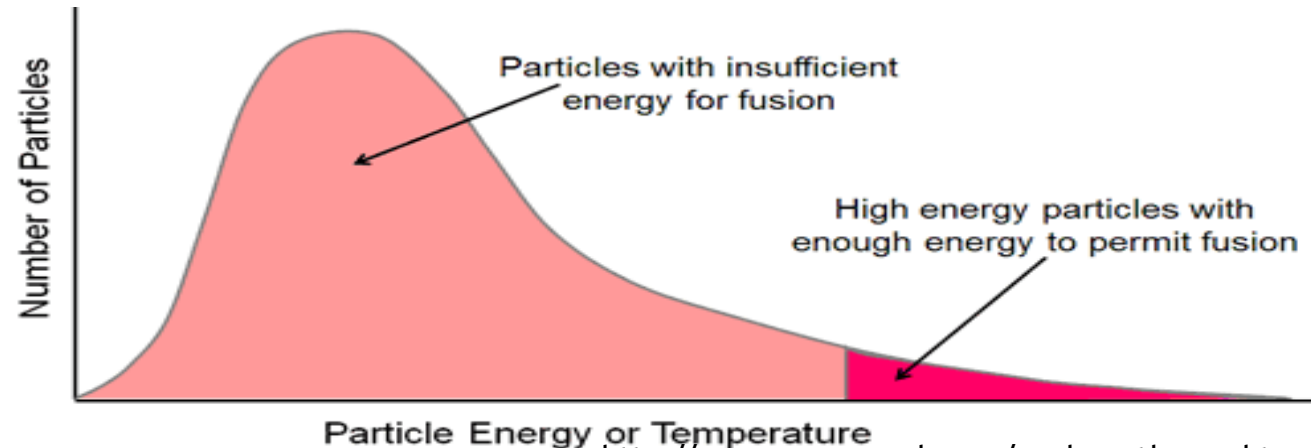


http://www.mpoweruk.com/nuclear_theory.htm

Coulomb Barrier values:



Maxwell-Boltzmann Distribution



http://www.mpoweruk.com/nuclear_theory.htm

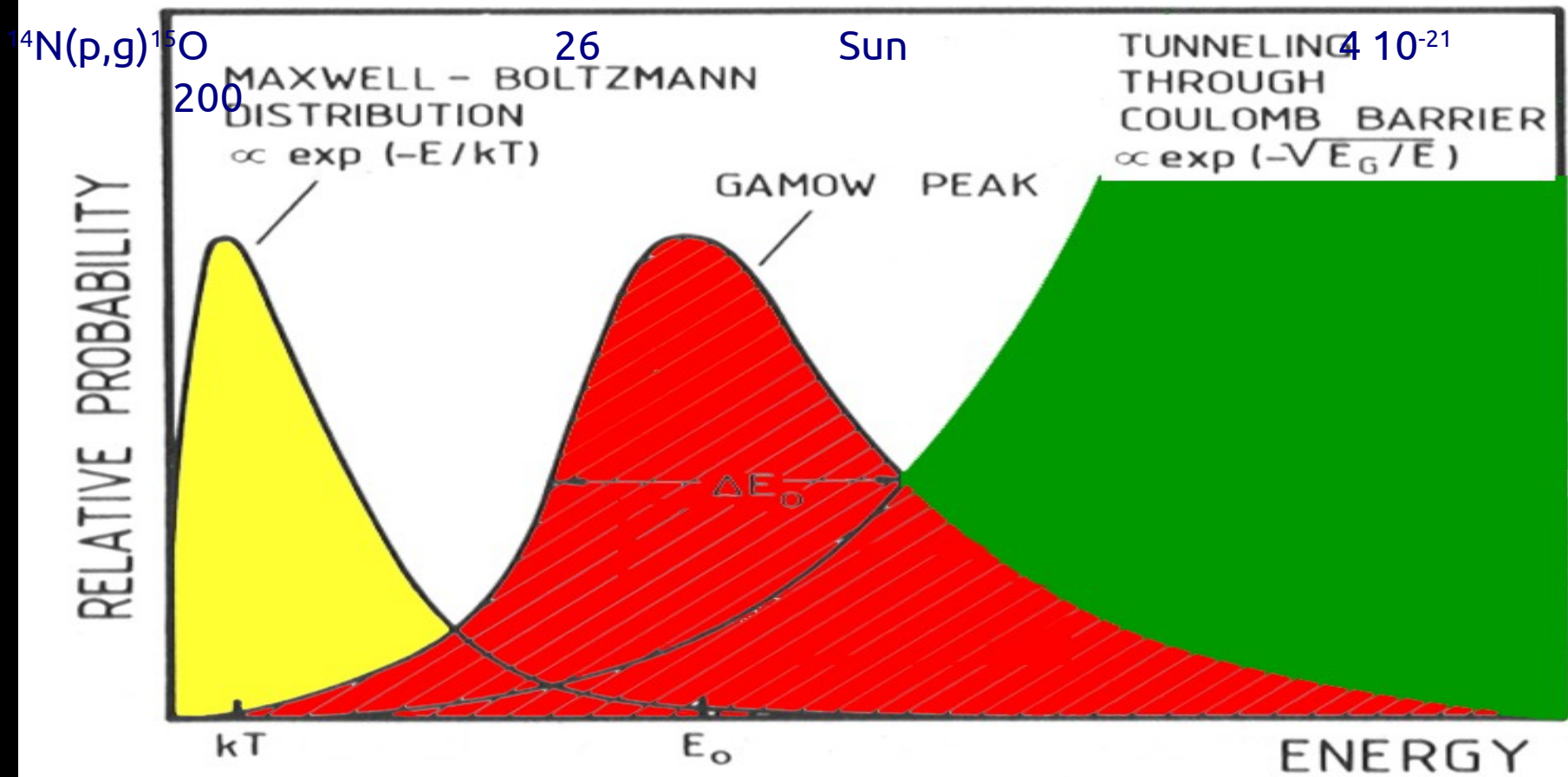
Energy of maximum of distrib.

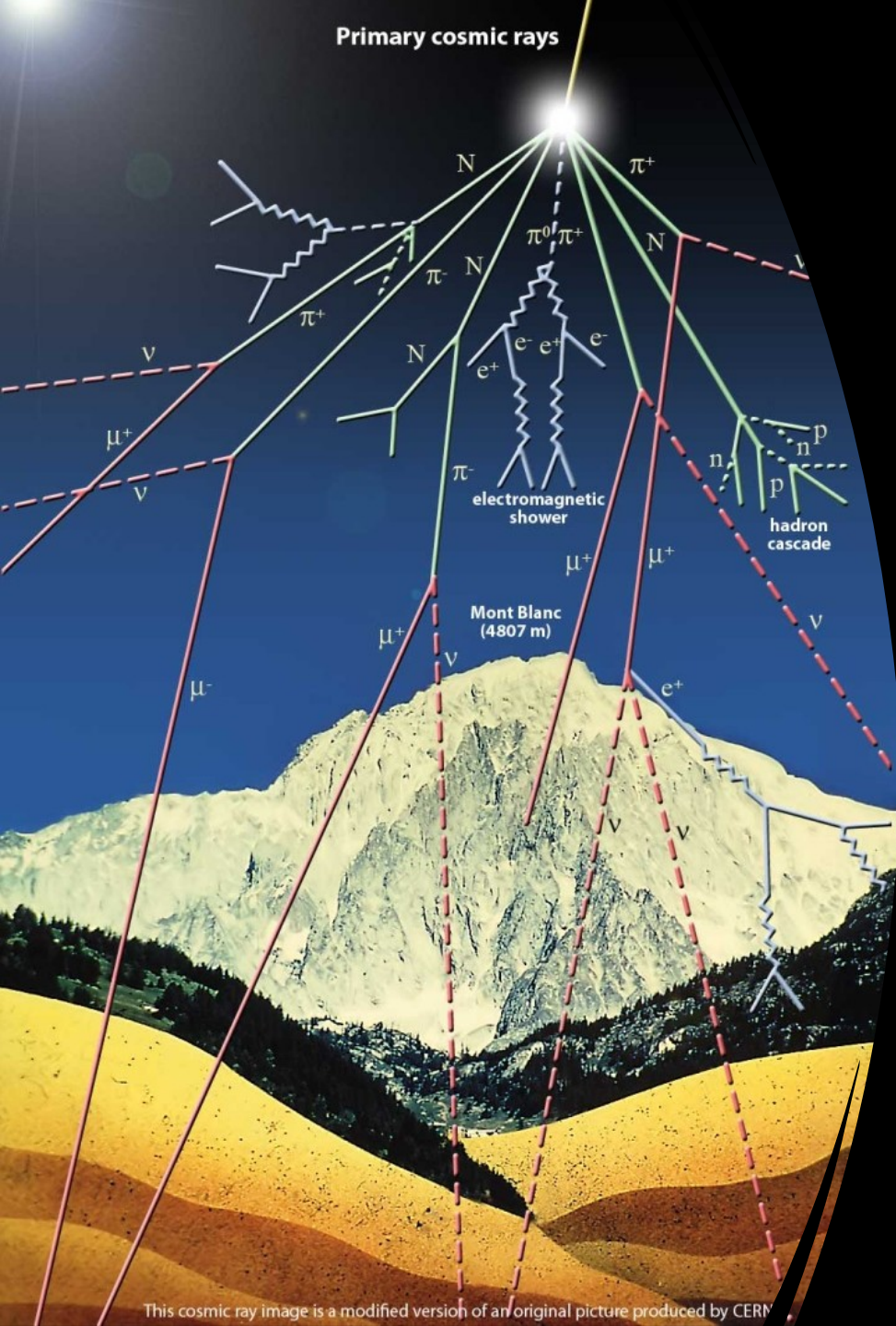
	T/GK	E/MeV
Sun	0,016	0,0014
AGB	0,300	0,026
Supernova	5	



Stellar Fusion Reactions

	Gamow Energy [keV]	Astrophys Environment	Cross section [barn]	Lowest measured Energy
${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$	21	Sun	$7 \cdot 10^{-13}$	16,5
${}^3\text{He}(\alpha, g){}^7\text{Be}$	107	22	$9 \cdot 10^{-18}$	

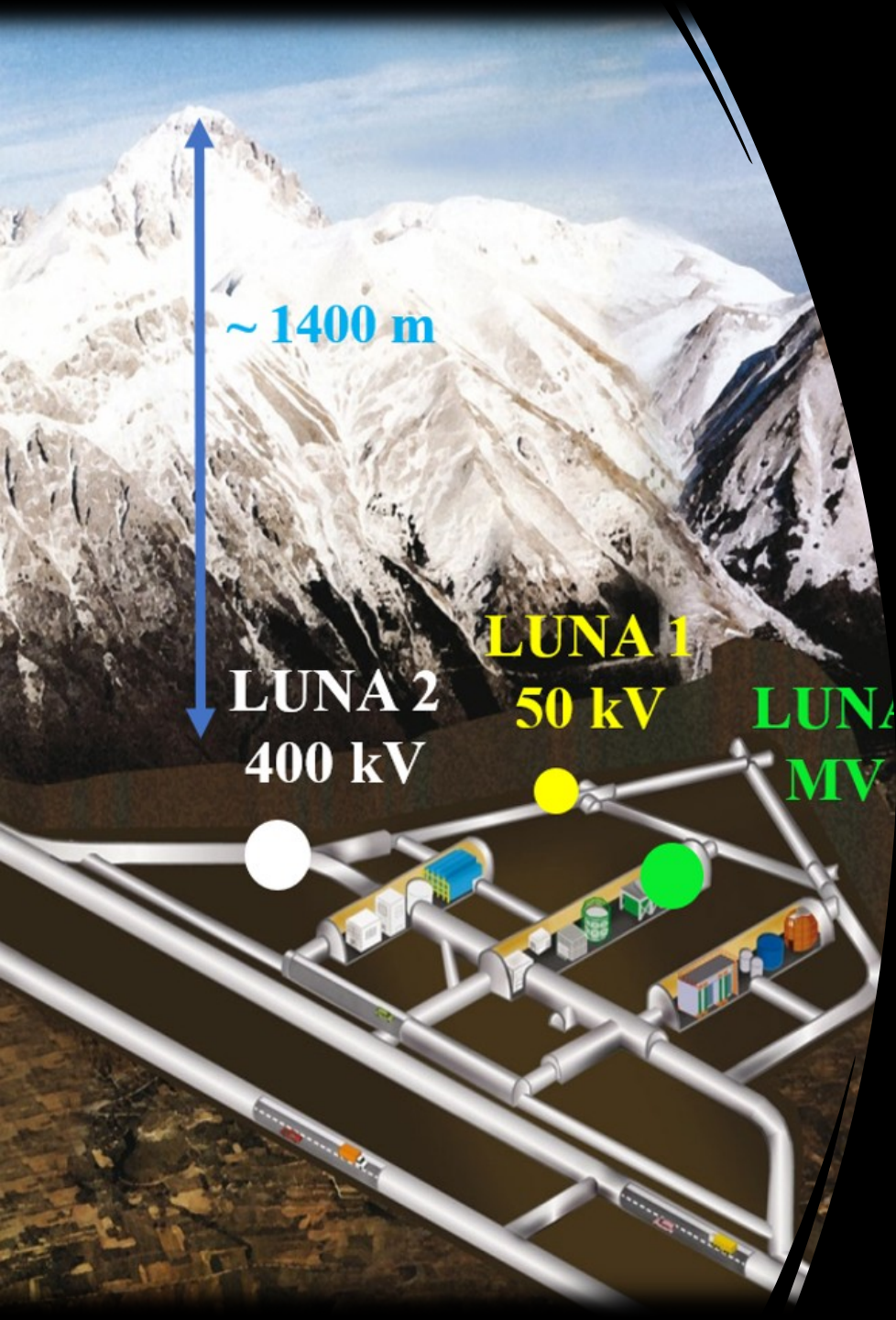




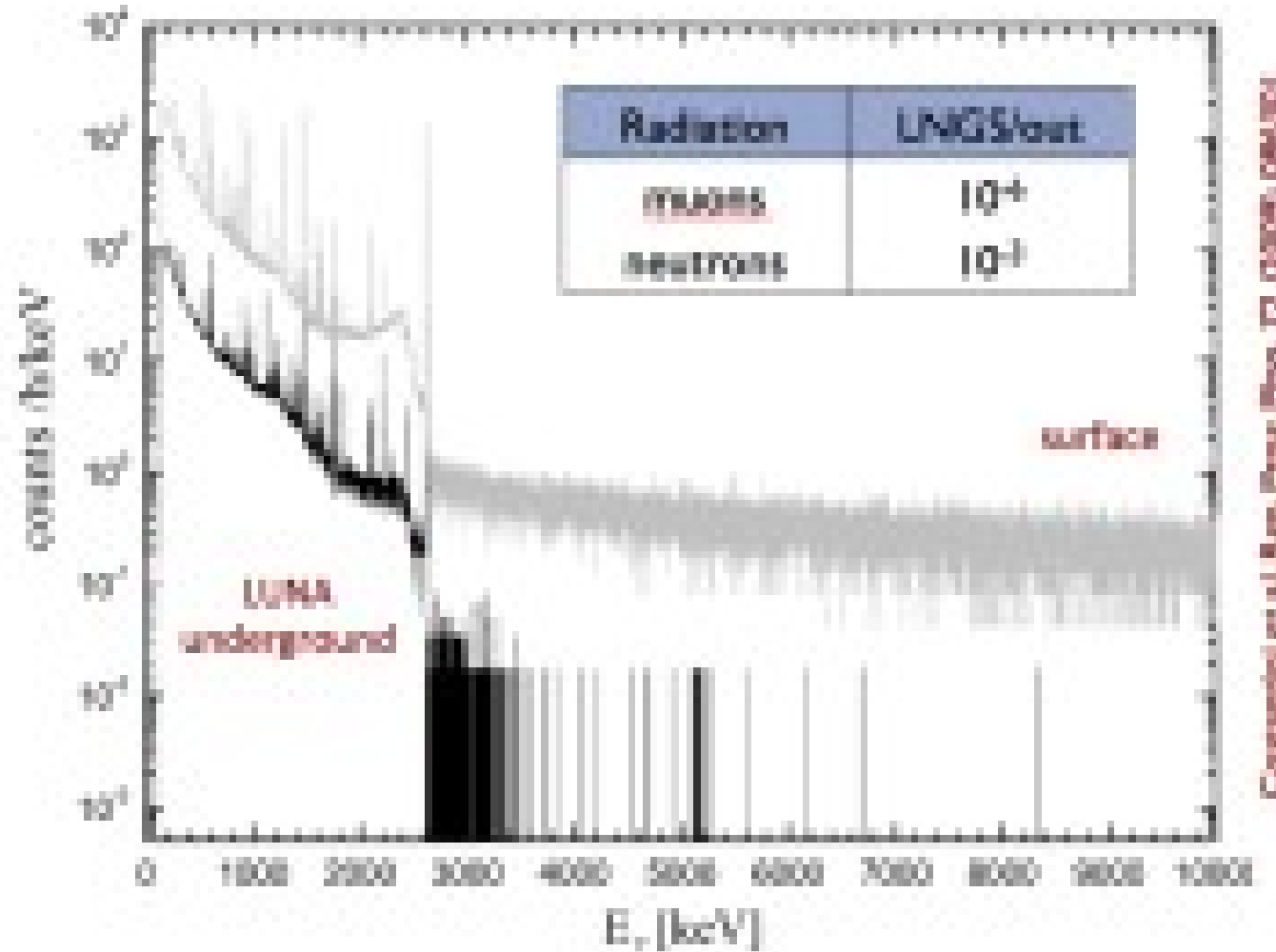
Perchè sotto una montagna?

- La Terra è soggetta a un flusso di “**raggi cosmici**” che interagendo con l’atmosfera causano una pioggia (“shower”) di altre particelle.
- Il flusso di particelle cariche misurato a terra è di circa 100-200 Hz/m² (in realtà dipende dalla quota).
- Il flusso di raggi cosmici è un fondo ineliminabile per un esperimento in superficie in cerca di eventi rari.
- La montagna (1400 metri di roccia) scherma in maniera naturale gli esperimenti

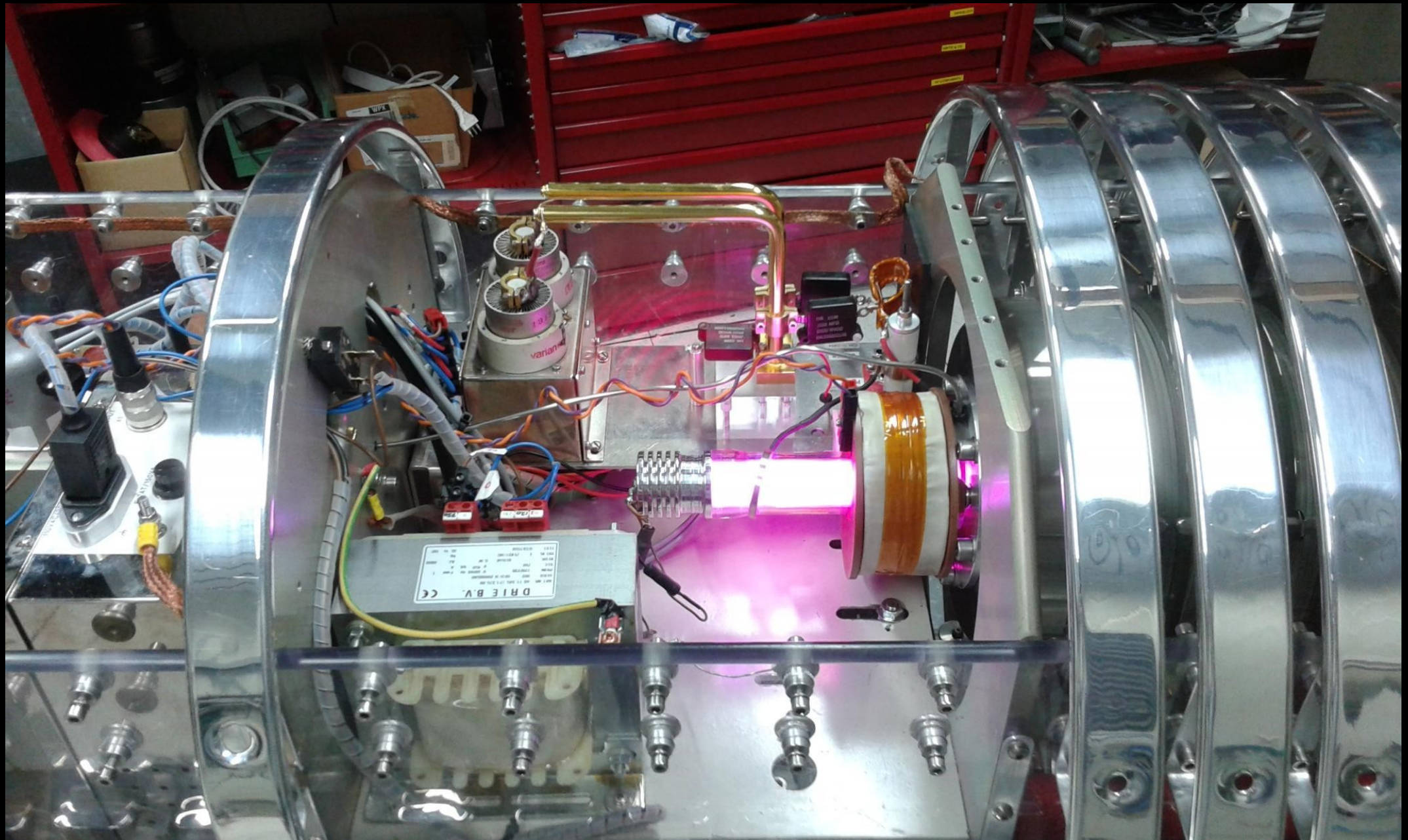
L'esperimento LUNA

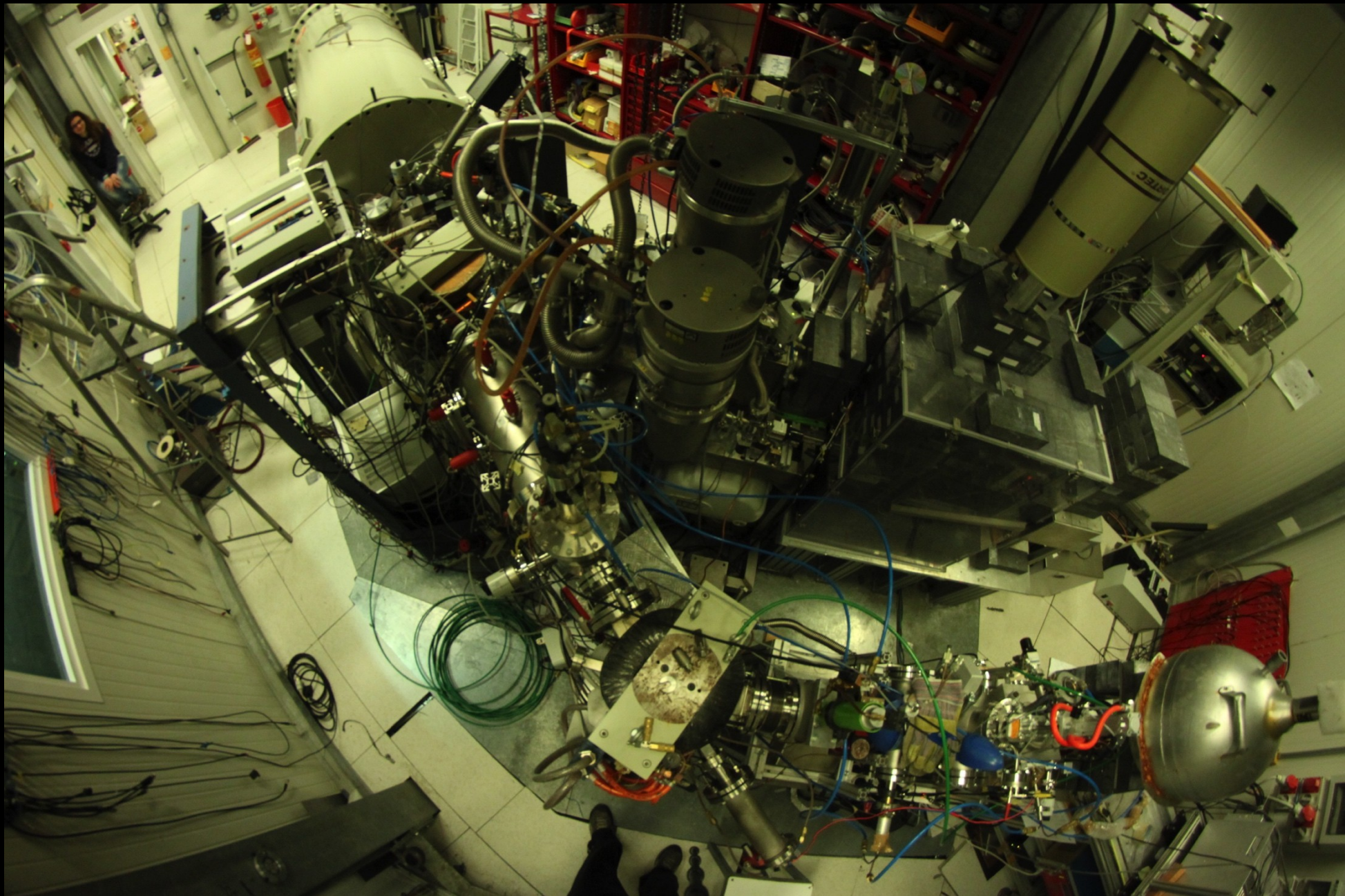


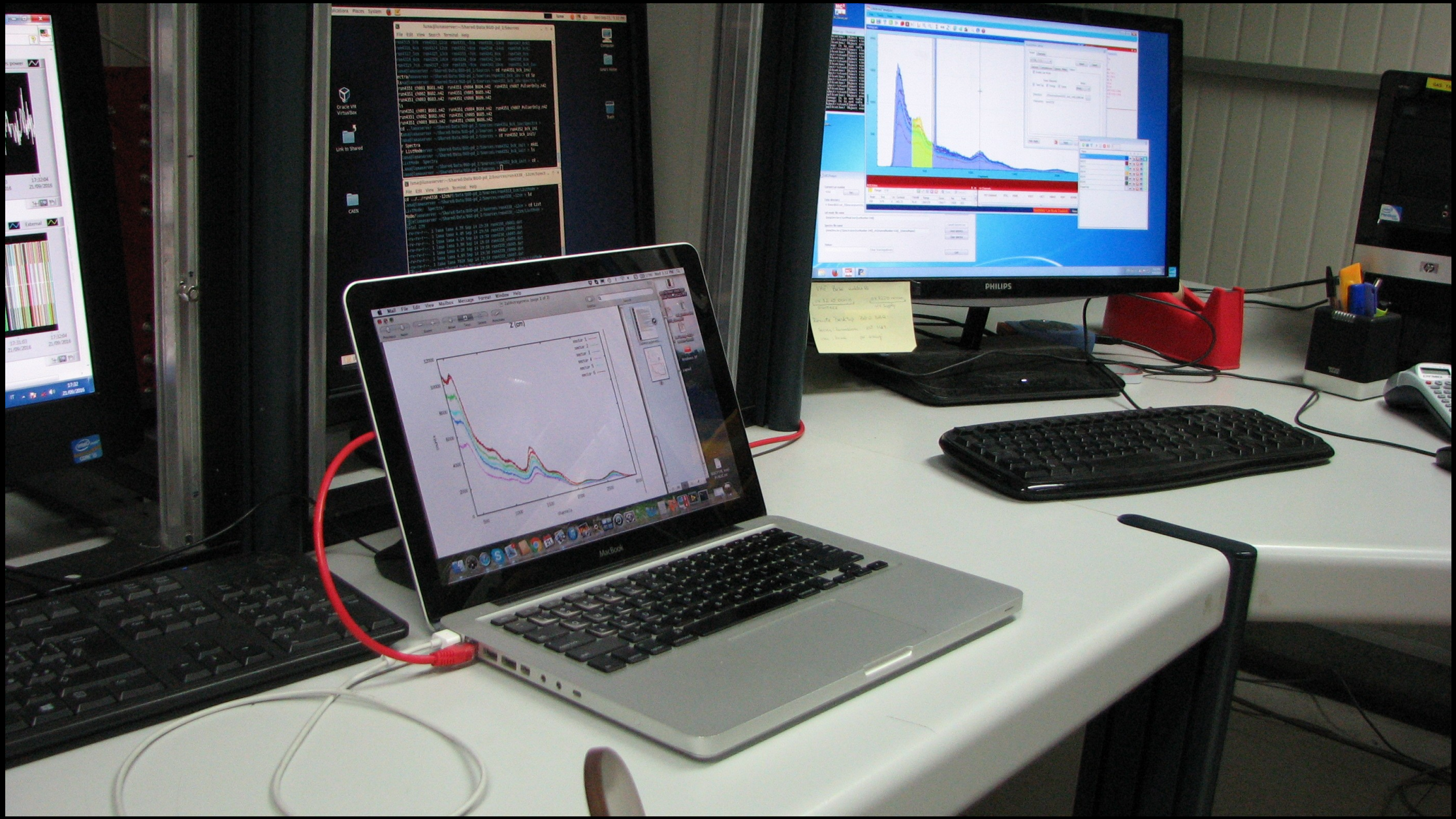
Riduzione del fondo ambiental e dei raggi cosmici











La nuova sfida: LUNA-MV

Studiare gli stadi avanzati di nucleosintesi nelle stelle



