

Periodicità e Formalizzazione nella Didattica delle Scienze e della Matematica nella Scuola Secondaria di Primo e Secondo grado

*Seminario integrato #2
Gli elementi: dalla loro nascita al loro ruolo
sulla Terra*

Gli alchimisti dell'Universo: le stelle

S. Galano – Dipartimento di Fisica «E. Pancini», Università «Federico II» di Napoli



Vela Supernova Remnant Mosaic
Image Credit & Copyright: Robert Gendler,
Roberto Colombari, Digitized Sky Survey (POSS II)



Gli Alchimisti - Scienziati

Ruggero Bacon (1214 circa – 1294): la sua *Opus Majus* contiene trattazioni di matematica, ottica, alchimia e manifattura della polvere da sparo, le posizioni e le estensioni dei corpi celesti, compresa la chiara affermazione della sfericità della terra; l'opera inoltre anticipa successive invenzioni come il microscopio, il telescopio, gli occhiali, le macchine volanti e le navi a vapore. Per primo dopo gli scienziati ellenistici riconobbe lo spettro visibile in un bicchiere d'acqua, secoli prima dei lavori di ottica di personaggi come Cartesio e Isaac Newton. A lui si devono anche misurazioni sull'arcobaleno.

Paracelso (1493-1541): diede una nuova forma all'alchimia, promuovendo l'utilizzo di osservazioni empiriche ed esperimenti tesi a comprendere il corpo umano. In particolare si concentrò sullo sviluppo medicinale dell'alchimia, ponendo ai margini della dottrina la ricerca metallurgica sui metalli preziosi.

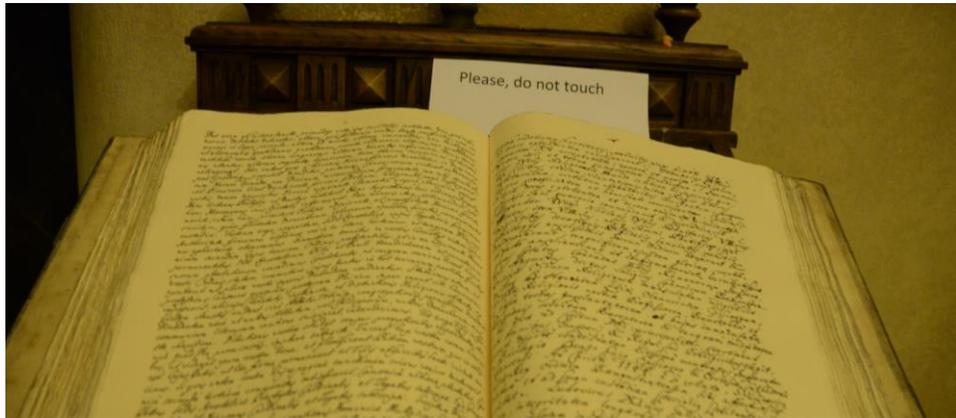
Robert Boyle (1627 – 1691): credendo che la trasmutazione dei metalli potesse essere possibile, portò avanti una serie di esperimenti nella speranza di effettuarla. Boyle si batté per ottenere l'abrogazione, nel 1689, della legge di Enrico IV contro la moltiplicazione di oro e argento.

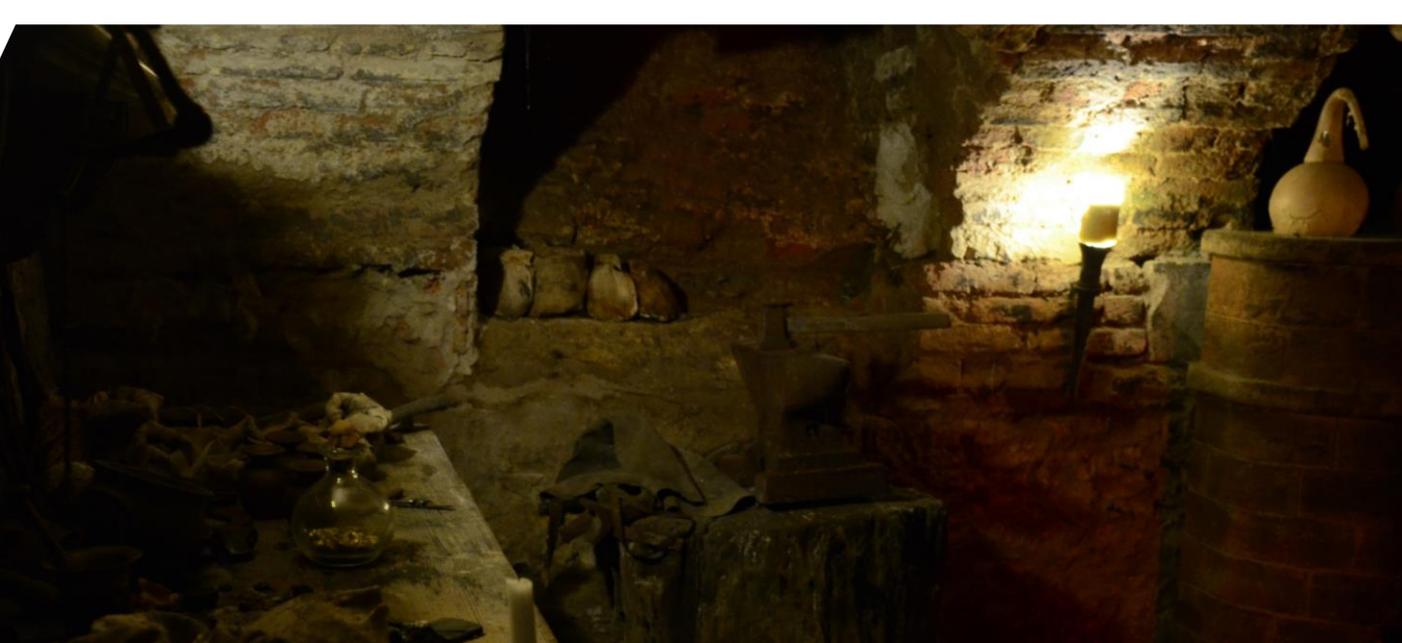


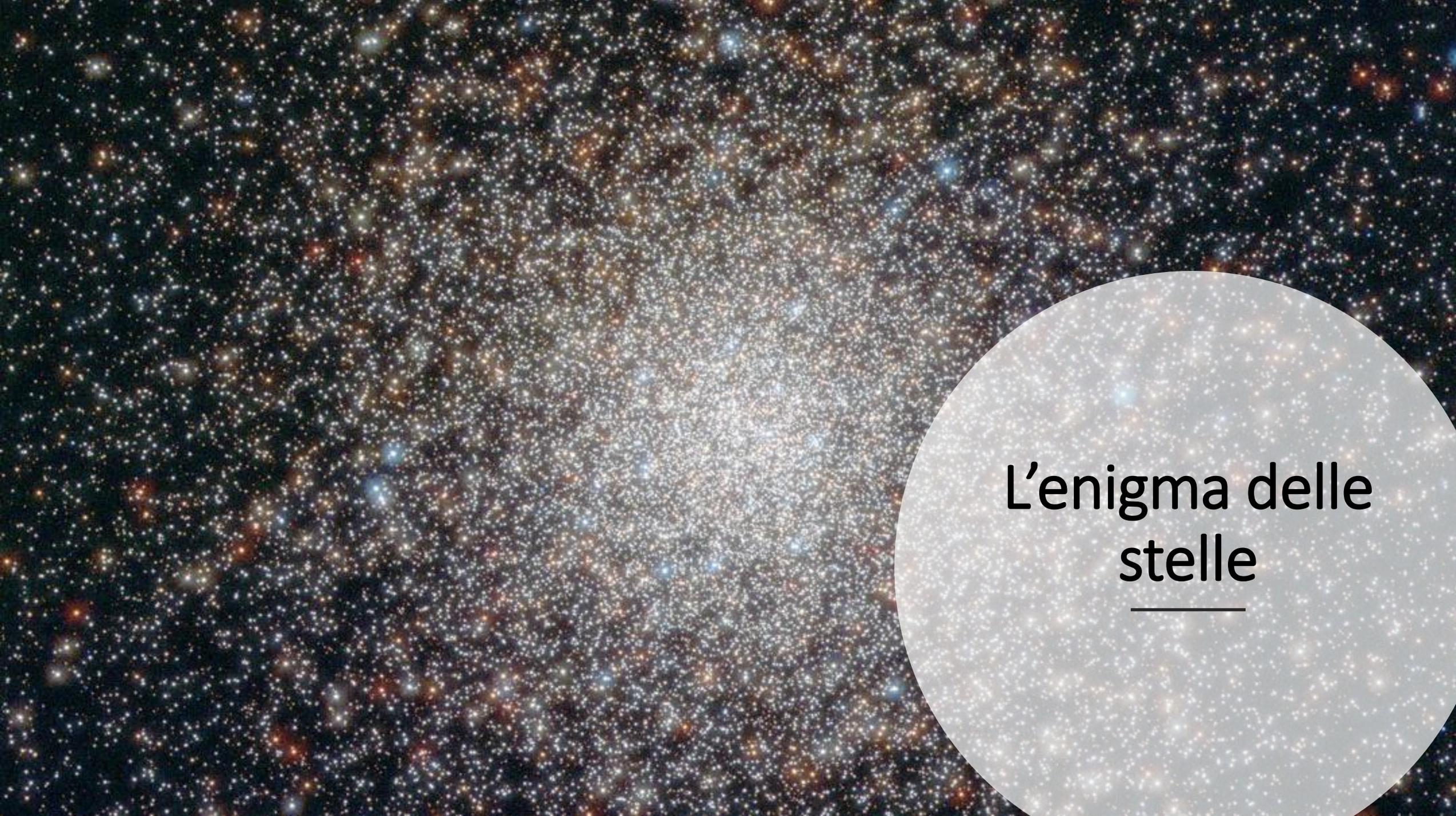
Gli Alchimisti e i loro laboratori: *Haštalská street No. 1, Praga*

<http://www.alchemiae.cz/en>

- Prime testimonianze scritte su questa abitazione risalgono al 900 AD, si tratta quindi probabilmente di una delle più antiche costruzioni di Praga.
- Nel XV secolo era usata come farmacia/erboristeria in cui gli alchimisti vendevano le loro.
- Nel XVI secolo, l'imperatore Rodolfo II ne fece il laboratorio alchemico per i suoi alchimisti.







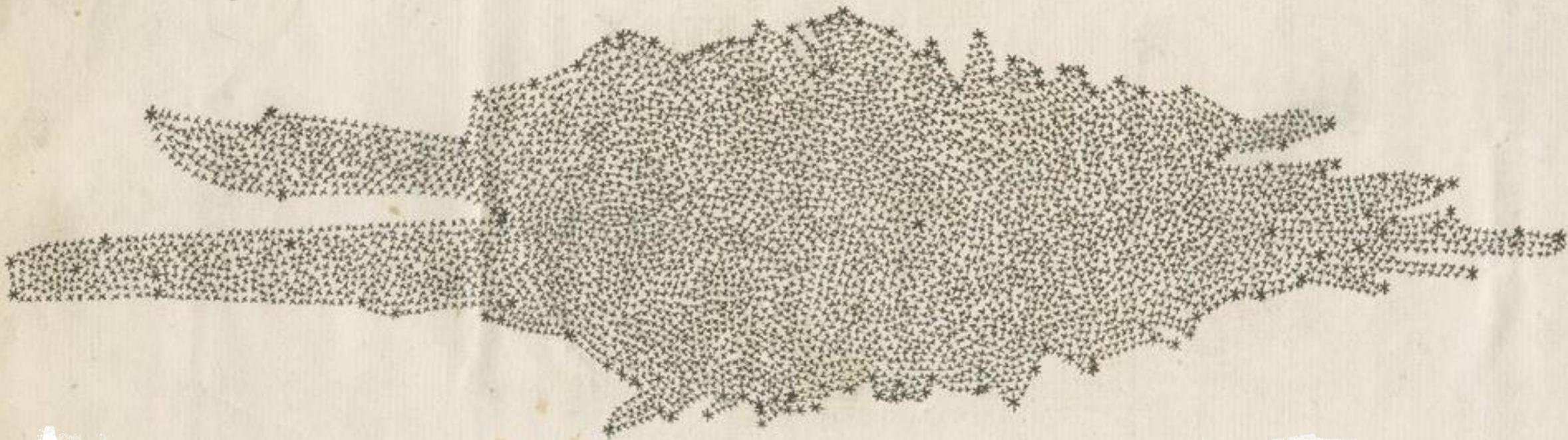
L'enigma delle
stelle



L'enigma delle stelle

- Tycho Brahe (1546 – 1601) e Johannes Kepler (1571 -1630), erano arrivati a dubitare dell'immutabilità dei cieli.
- Nel 1584, Giordano Bruno, nel suo *De l'infinito universo e mondi*, ipotizzò che le stelle fossero come altri soli e che attorno a esse potessero orbitare dei pianeti, probabilmente anche simili alla Terra.
- Isaac Newton ipotizzò che le stelle fossero equamente distribuite in ogni direzione. La stessa idea era stata formulata in precedenza dal teologo Richard Bentley, cui forse si ispirò lo stesso Newton.

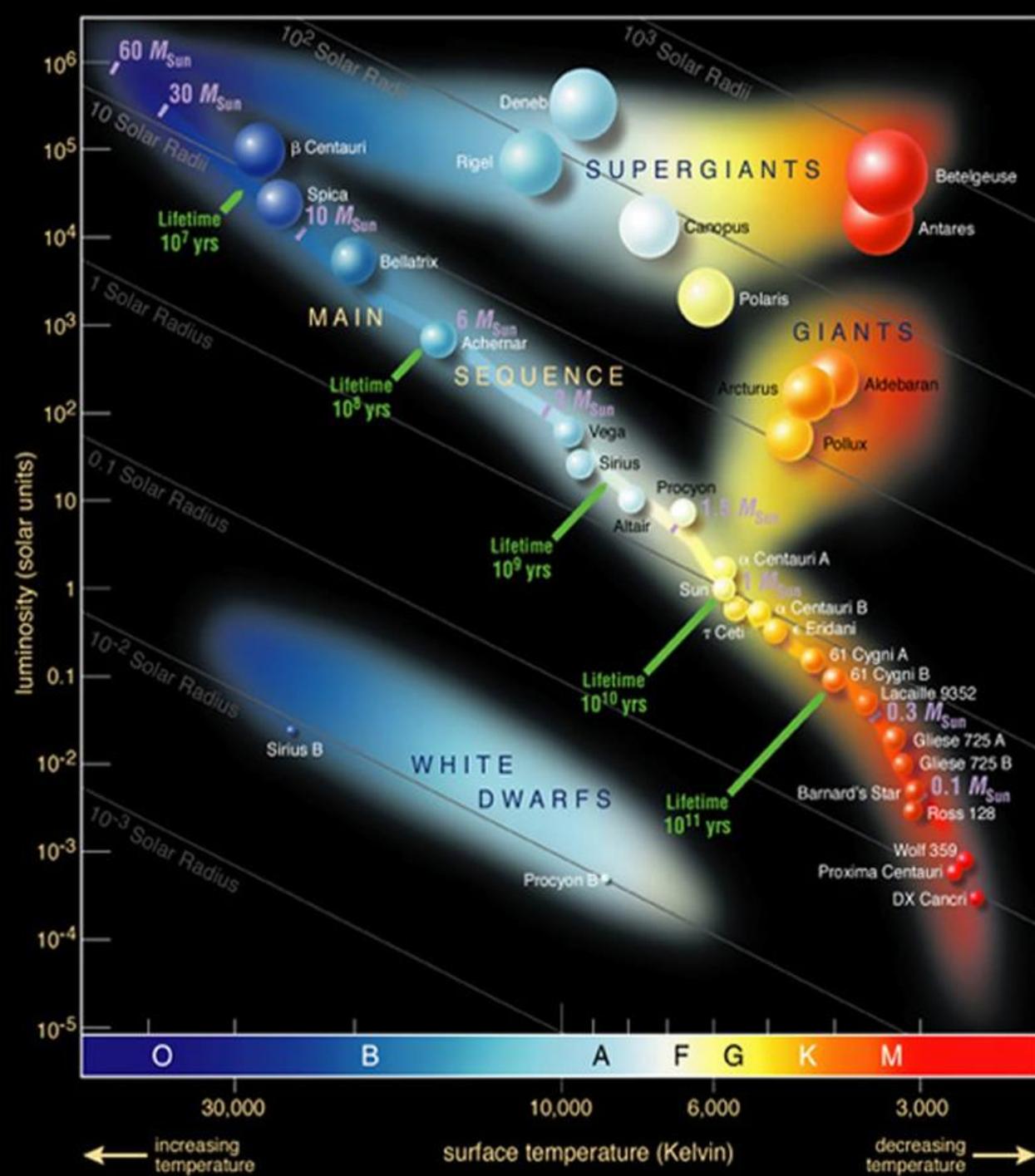
Fig. 4.



L'enigma delle stelle

- 1667: Geminiano Montanari registrò variazioni nella luminosità di Algol (β Persei).
- 1718: E. Halley pubblicò le prime misurazioni del moto proprio di alcune delle stelle più vicine, tra cui Arturo e Sirio.
- William Herschel, scoprì i sistemi binari e tentò di misurare la distribuzione delle stelle nello spazio. Nel 1785 disegnò poi un diagramma sulla forma della Galassia.

L'enigma delle stelle



- 1827: la prima soluzione al problema di ricavare l'orbita di una stella binaria sulla base delle osservazioni al telescopio fu trovata da Felix Savary.
- 1838: Friedrich Bessel, servendosi del metodo della parallasse, quantificò la distanza del sistema binario 61 Cygni.
- 1865: Secchi iniziò a classificare le stelle in base al proprio tipo spettrale.
- Il XX secolo vide l'avvento della fotografia.
- 1913: Ejnar Hertzsprung ed Henry Norris Russell, scoprirono il diagramma H-R.



Come fanno le
stelle a brillare?

Il Sole ha una massa di $1,993,827 \times 10^{30}$ kg e una luminosità di $3,827 \times 10^{26}$ W. Quale pensi che possa essere la fonte di questa energia?

Sostanza	Potere calorifico (MJ/kg)	Energia Ottenuta*	Tempo di vita* (anni)
Legno secco	15,0		
Carboni grassi	31,1		
Benzina Super	44,0		
GPL	46,1		
Gasolio	43,3		
Idrogeno H ₂	120,0		
Metano CH ₄	50,0		

*Arrotondamento sempre per eccesso

Il Sole ha una massa di $1,993,827 \times 10^{30}$ kg e una luminosità di $3,827 \times 10^{26}$ W. Quale pensi che possa essere la fonte di questa energia?

Sostanza	Potere calorifico (MJ/kg)	Energia Ottenuta*	Tempo di vita* (anni)
Legno secco	15,0	$2,98 \times 10^{37}$	2472
Carboni grassi	31,1	$6,19 \times 10^{37}$	5126
Benzina Super	44,0	$8,75 \times 10^{37}$	7252
GPL	46,1	$9,17 \times 10^{37}$	7598
Gasolio	43,3	$8,61 \times 10^{37}$	7136
Idrogeno H ₂	120,0	$2,39 \times 10^{38}$	19776
Metano CH ₄	50,0	$9,94 \times 10^{37}$	8240

*Arrotondamento sempre per eccesso

Problema: l'età della terra è stimata in 4 540 000 000 anni!!!
I fossili più antichi di piante e funghi della terraferma risalgono a 480–460 milioni di anni fa



Come fanno le
stelle a brillare?

Gli alchimisti moderni: fisici e chimici nucleari

- **1932**: Ernest Walton e John Cockcroft, accelerando protoni contro un atomo di litio-7 riuscirono a dividere il suo nucleo in due particelle alfa (splitting the atom).
- **22 ottobre 1934**: i ragazzi di via Panisperna, guidati da Fermi, realizzano la prima fissione nucleare artificiale di un atomo di Uranio. Il gruppo di fisici italiani però non si accorse di ciò che era avvenuto ma ritenne invece di aver prodotto dei nuovi elementi transuranici.
- **1934**: la chimica Ida Noddack, partendo da una analisi critica degli esperimenti di Enrico Fermi, fu la prima ad elaborare l'idea della fissione nucleare nel 1934.
- **Notte tra il 17 e il 18 dicembre 1938**: due chimici nucleari tedeschi, Otto Hahn e il suo giovane assistente Fritz Strassmann, dimostrano sperimentalmente che un nucleo di uranio-235, qualora assorba un neutrone, può dividersi in due o più frammenti dando luogo così alla fissione del nucleo.

Gli alchimisti moderni: fisici e chimici nucleari

Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction

On bombarding uranium with neutrons, Fermi and collaborators¹ found that at least four radioactive substances were produced, two of which atomic numbers larger than 92 were ascribed. Further investigations² demonstrated the existence of at least nine radioactive periods, six of which were assigned to elements beyond uranium, and nuclear isomerism had to be assumed in order to account for their chemical behaviour together with their genetic relations.

In making chemical assignments, it was always assumed that these radioactive bodies had atomic numbers near that of the element bombarded, since only particles with one or two charges were known to be emitted from nuclei. A body, for example, with similar properties to those of osmium was assumed to be eka-osmium ($Z = 94$) rather than osmium ($Z = 76$) or ruthenium ($Z = 44$).

Following up an observation of Curie and Savitch³, Hahn and Strassmann⁴ found that a group of at least three radioactive bodies, formed from uranium under neutron bombardment, were chemically similar to barium and, therefore, presumably isotopic with radium. Further investigation⁵, however, showed that it was impossible to separate these bodies from barium (although mesothorium, an isotope of radium, was readily separated in the same experiment), so that Hahn and Strassmann were forced to conclude that *isotopes of barium ($Z = 56$) are formed as a consequence of the bombardment of uranium ($Z = 92$) with neutrons.*

At first sight, this result seems very hard to understand. The formation of elements much below uranium has been considered before, but was always rejected for physical reasons, so long as the chemical evidence was not entirely clear cut. The emission, within a short time, of a large number of charged particles may be regarded as excluded by the small penetrability of the 'Coulomb barrier', indicated by Gamov's theory of alpha decay.

On the basis, however, of present ideas about the behaviour of heavy nuclei⁶, an entirely different and essentially classical picture of these new disintegration

'tunnel effects', which would actually be extremely small, on account of the large masses involved.

After division, the high neutron/proton ratio of uranium will tend to readjust itself by beta decay to the lower value suitable for lighter elements. Probably each part will thus give rise to a chain of disintegrations. If one of the parts is an isotope of barium⁷, the other will be krypton ($Z = 92 - 56$), which might decay through rubidium, strontium and yttrium to zirconium. Perhaps one or two of the supposed barium-lanthanum-cerium chains are then actually strontium-yttrium-zirconium chains.

It is possible⁸, and seems to us rather probable, that the periods which have been ascribed to elements beyond uranium are also due to light elements. From the chemical evidence, the two short periods (10 sec. and 40 sec.) so far ascribed to ²³⁵U might be masurium isotopes ($Z = 43$) decaying through ruthenium, rhodium, palladium and silver into cadmium.

In all these cases it might not be necessary to

to some highly symmetrical type of motion of nuclear matter which does not favour 'fission' of the nucleus.
LISE MEITNER.

Physical Institute,
Academy of Sciences,
Stockholm.

O. R. FRISCH.

Institute of Theoretical Physics,
University,
Copenhagen.
Jan. 16.

¹ Fermi, E., Amaldi, F., d'Agostino, O., Rasetti, F., and Segrè, E. *Proc. Roy. Soc., A*, **146**, 483 (1934).

² See Meitner, L., Hahn, O., and Strassmann, F., *Z. Phys.*, **106**, 249 (1937).

³ Curie, I., and Savitch, P., *C.R.*, **203**, 906, 1643 (1938).

⁴ Hahn, O., and Strassmann, F., *Naturwiss.*, **26**, 756 (1938).

⁵ Hahn, O., and Strassmann, F., *Naturwiss.*, **27**, 11 (1939).

⁶ Bohr, N., *NATURE*, **137**, 344, 351 (1936).

⁷ Bohr, N., and Kalckar, F., *Kgl. Danske Vid. Selskab, Math. Phys. Medd.*, **14**, Nr. 10 (1937).

⁸ See Meitner, L., Strassmann, F., and Hahn, O., *Z. Phys.*, **109**, 538 (1938).

⁹ Bethe, A. H., and Placzek, G., *Phys. Rev.*, **51**, 450 (1937).

143, 239-240, 1939

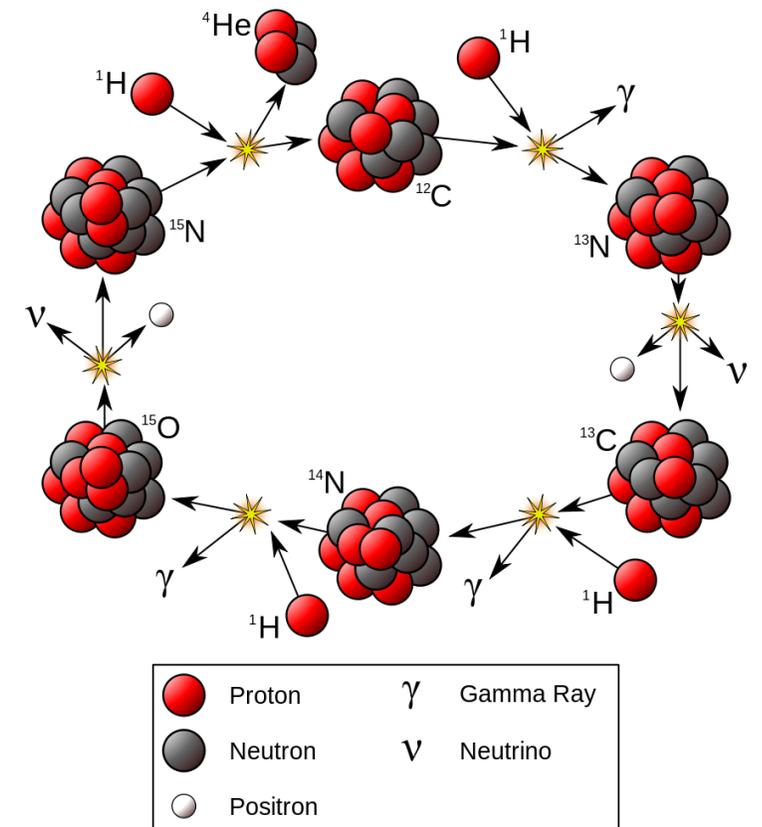


Lise Meitner

Lise Meitner e Otto Robert Frisch
"Disintegration of Uranium by Neutrons:
a New Type of Nuclear Reaction"
(Nature, 143, pp. 239-240, 1939)

Gli alchimisti moderni: fisici e chimici nucleari

Hans Albrecht Bethe (Strasburgo, 1906 – Ithaca, 2005), nel 1938 individuò un ciclo di reazioni termonucleari all'origine dell'energia del sole e della maggior parte delle stelle (ciclo di Bethe).





Gli alchimisti moderni: fisici e chimici nucleari

The Nobel Prize in Physics 1967 was awarded to Hans Albrecht Bethe "for his contributions to the theory of nuclear reactions, especially his discoveries concerning the energy production in stars."

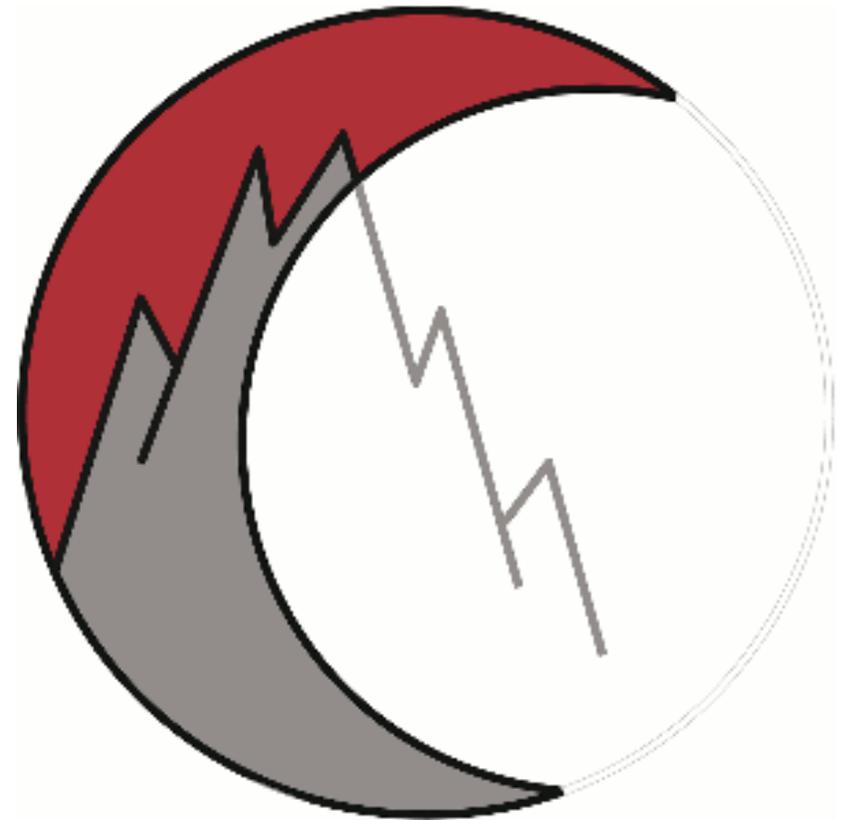
<https://www.nobelprize.org/>

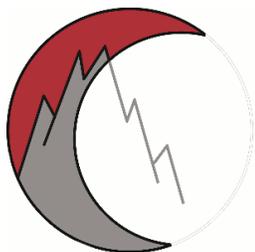
LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics)

<https://luna.lngs.infn.it/index.php>

Istituzioni partecipanti:

1. Università degli Studi di Genova and INFN, GENOVA, Italy
2. Laboratori Nazionali del Gran Sasso, INFN, ASSERGI, Italy/*GSSI, L'AQUILA, Italy
3. Università degli Studi di Bari and INFN, BARI, Italy
4. Konkoly Observatory, Hungarian Academy of Sciences, BUDAPEST, Hungary
5. Institute of Nuclear Research (ATOMKI), DEBRECEN, Hungary
6. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, DRESDEN, Germany
7. University of Edinburgh, EDINBURGH, United Kingdom
8. Università degli Studi di Genova and INFN, GENOVA, Italy
9. INFN Lecce, LECCE, Italy
10. Università degli Studi di Milano and INFN, MILANO, Italy
11. **Università degli Studi di Napoli "Federico II" and INFN, NAPOLI, Italy**
(J. Balibrea, A. Best, A. Di Leva, G. Imbriani)
12. Università degli Studi di Padova and INFN, PADOVA, Italy
13. Università degli Studi di Tor Vergata, ROMA, Italy
14. INFN Roma, ROMA, Italy
15. Osservatorio Astronomico di Collurania, TERAMO and INFN LNGS, Italy
16. Università di Torino and INFN, TORINO, Italy

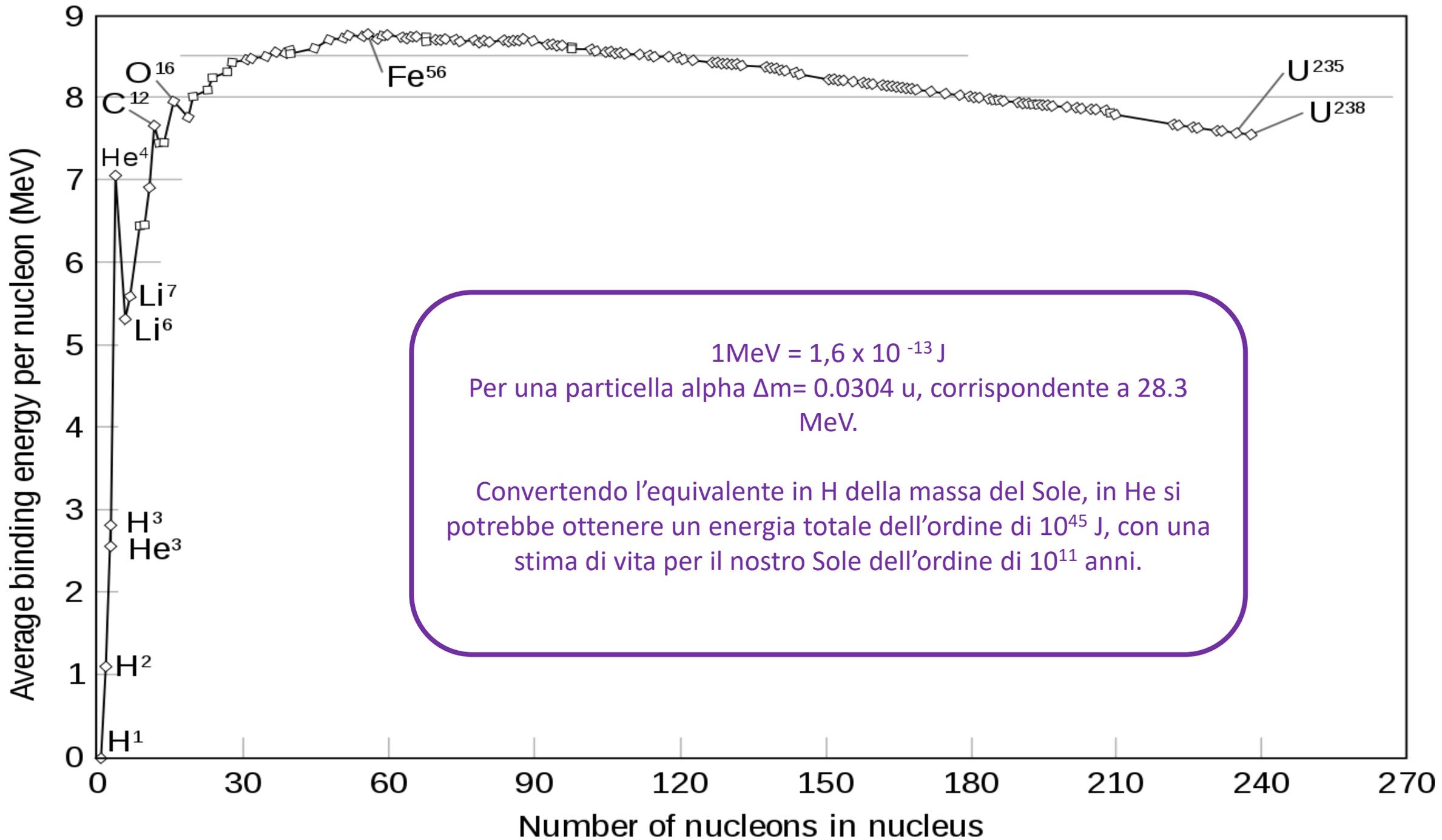




L U N A



- Negli ultimi 25 anni la collaborazione LUNA ha installato due acceleratori nei laboratori sotterranei dei LNGS e misurato alcune reazioni chiave del **ciclo di combustione dell'idrogeno e della nucleosintesi primordiale**. Prossimamente verrà installato un nuovo acceleratore che consentirà di misurare anche reazioni dei cicli di combustione dell'elio e del carbonio.
- Il programma scientifico di LUNA MV è finalizzato allo studio delle reazioni nucleari chiave per la combustione dell'elio e del carbonio e le cosiddette reazioni "sorgenti di neutroni" che producono il flusso di neutroni necessario per la formazione di gran parte degli elementi più pesanti del ferro.





Gli alchimisti dell'Universo: le stelle

Formazione stellare nella Nebulosa della Tarantola

Image Credit: NASA, ESA, ESO, D. Lennon (ESA/STScI) et al., and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Gli alchimisti dell'Universo: le stelle



- Le **nane brune**: massa più piccola del 7,5% - 8% della massa del Sole, M_{\odot} , corrispondente a 75 – 80 M_J (masse gioviane).
- Il limite minimo che separa i giganti gassosi massicci e le sub-nane brune dalle nane brune è di circa 13 M_J , limite superato il quale avviene la fusione del deuterio
- WISE 1828+2650: la più fredda nana bruna osservata a 40 anni luce dal Sole

Gli alchimisti dell'Universo: le stelle

Le stelle trascorrono circa il 90% della propria esistenza in una fase di stabilità durante la quale fondono l'H del proprio nucleo in He.

$$\begin{aligned}M &= 0,5 M_{\odot} \rightarrow t_{\text{MS}} \sim 5 \times 10^{10} \text{ anni} \\M &= 1 M_{\odot} \rightarrow t_{\text{MS}} \sim 1 \times 10^{10} \text{ anni} \\M &= 10 M_{\odot} \rightarrow t_{\text{MS}} \sim 2 \times 10^7 \text{ anni} \\M &> 30 M_{\odot} \rightarrow t_{\text{MS}} \sim 3 \times 10^6 \text{ anni}\end{aligned}$$

Gli alchimisti dell'Universo: le stelle

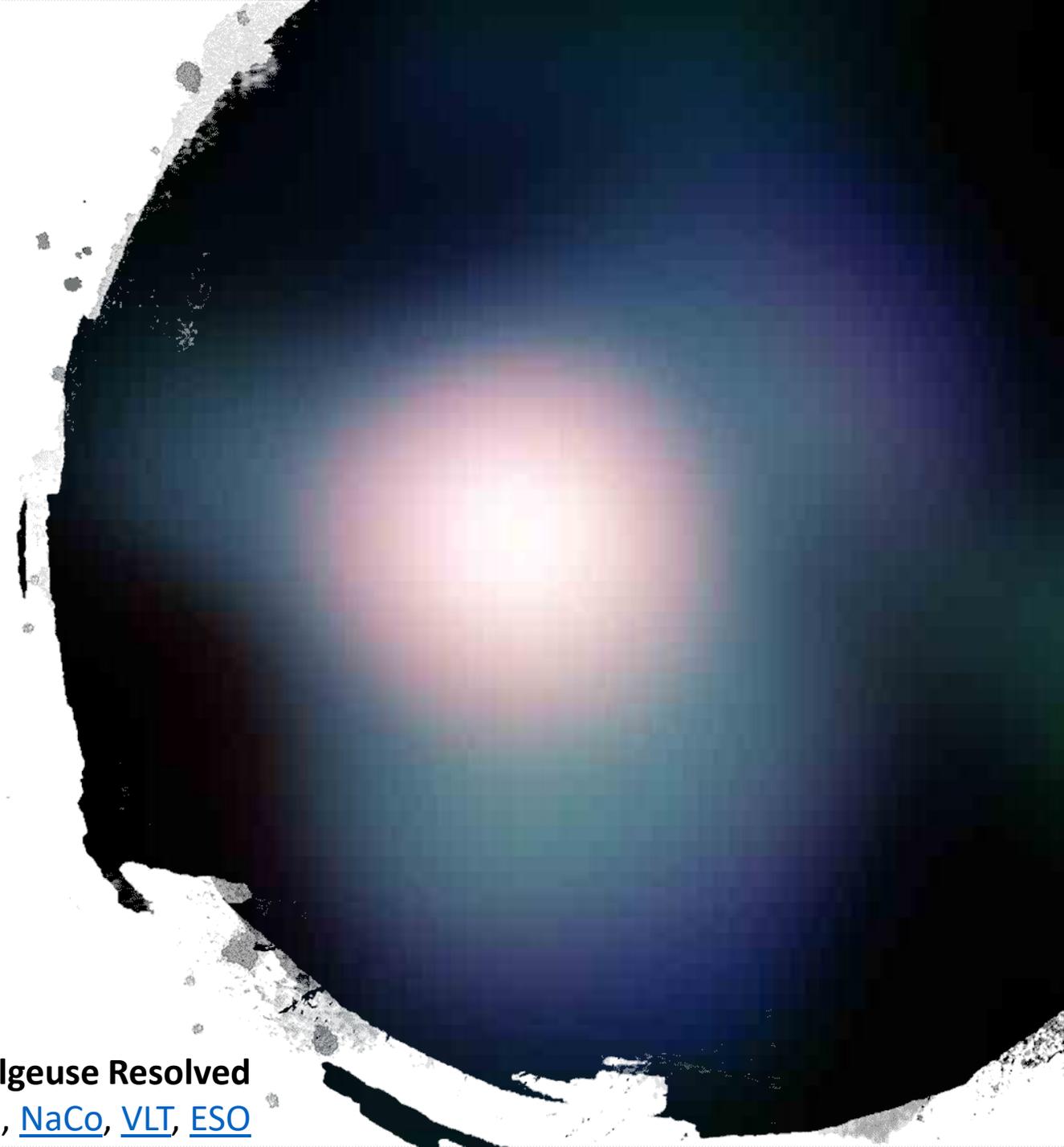
Giganti Rosse

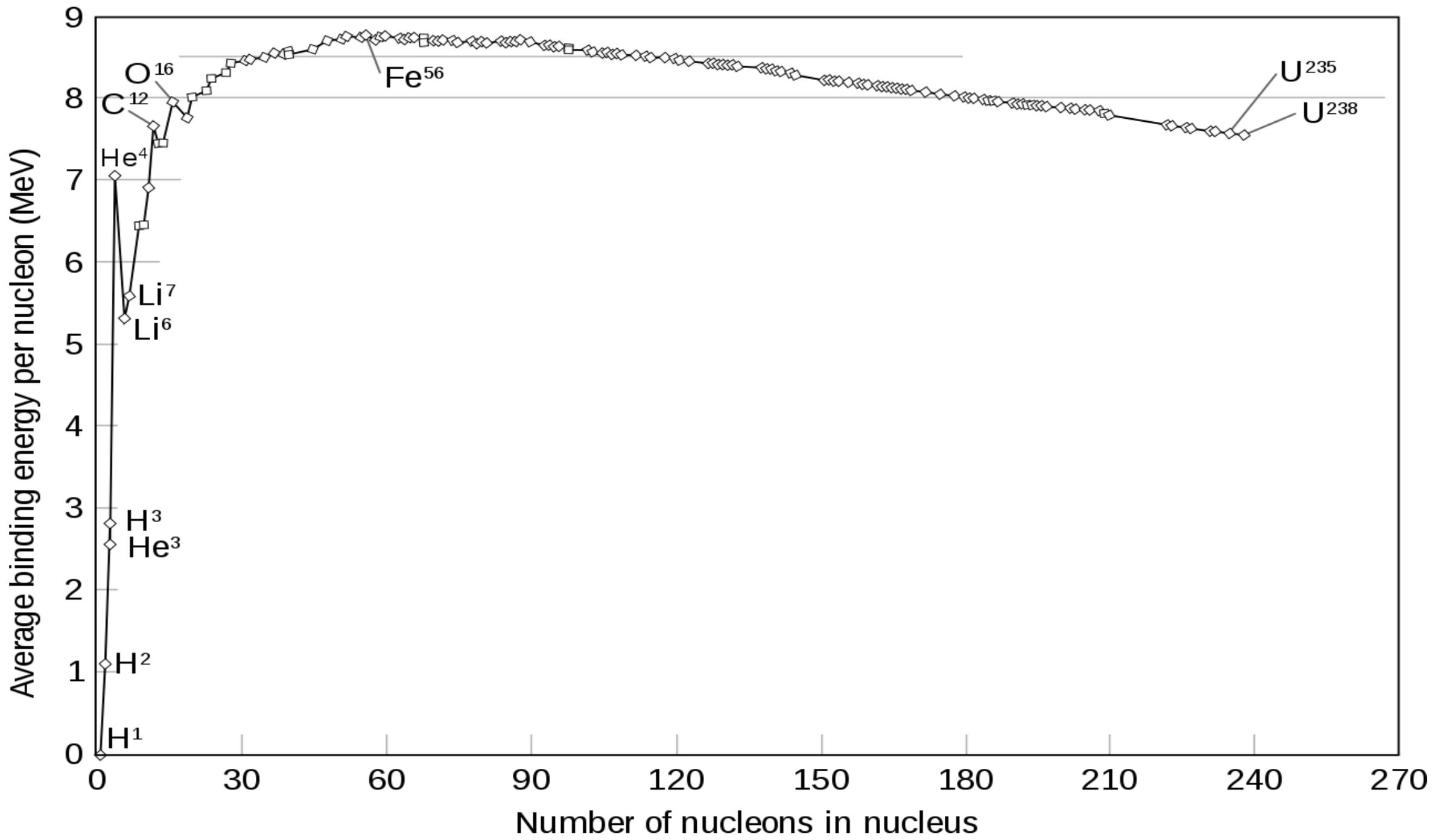
La fase di gigante rossa è breve, $\sim 0.1 T_{\text{MS}}$
ovvero ~ 1 Gyr per $M=M_{\odot}$, $\sim 10^6$ yr
per $M \sim 10 M_{\odot}$ ed alcuni 10^5 yr per stelle
più massicce.

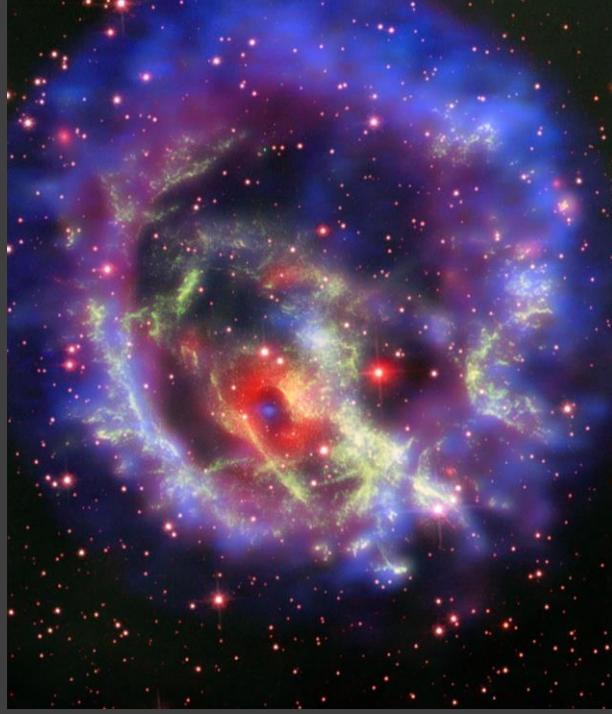
Per il Sole, $T_{\text{MS}} \sim 10^{10}$ yr con una età
stimata di $\sim 4.5 \times 10^9$ yr; tra 5.5×10^9 yr
diventerà una gigante rossa.

Betelgeuse Resolved

Credit: Pierre Kervella, [NaCo](#), [VLT](#), [ESO](#)







Resti di Supernova

- Vela Supernova Remnant in Optical

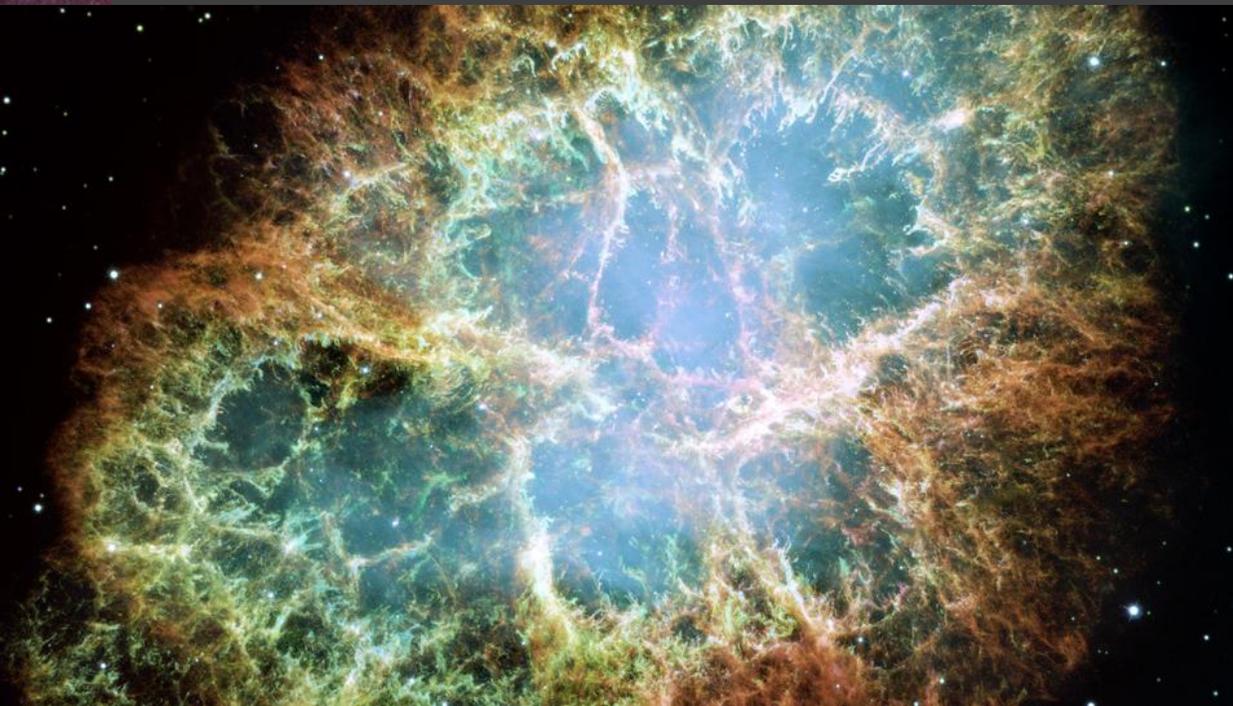
(Robert Gendler, Roberto Colombari, Digitized Sky Survey (POSS II))

- Una Stella di Neutroni resto della Supernova E0102-72.3

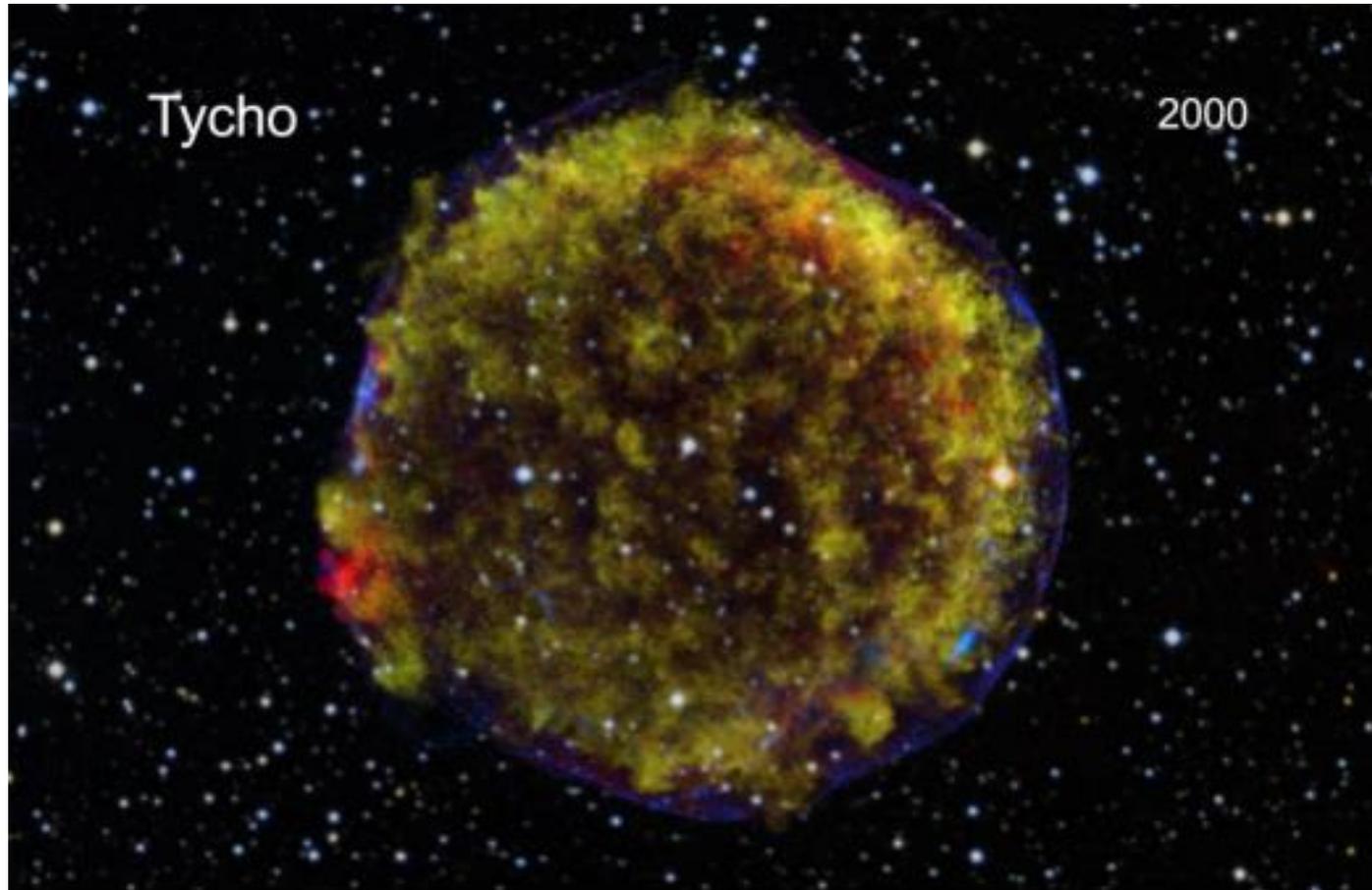
(X-ray (NASA/CXC/ESO/F. Vogt et al.); Optical (ESO/VLT/MUSE & NASA/STScI))

- La Nebulosa del Granchio

(Hubble)



Resti della supernova di Tycho



Crediti. X-ray:
NASA/CXC/GSFC/B.
Williams et al; Optical: DSS;
Radio: NSF/NRAO/VLA

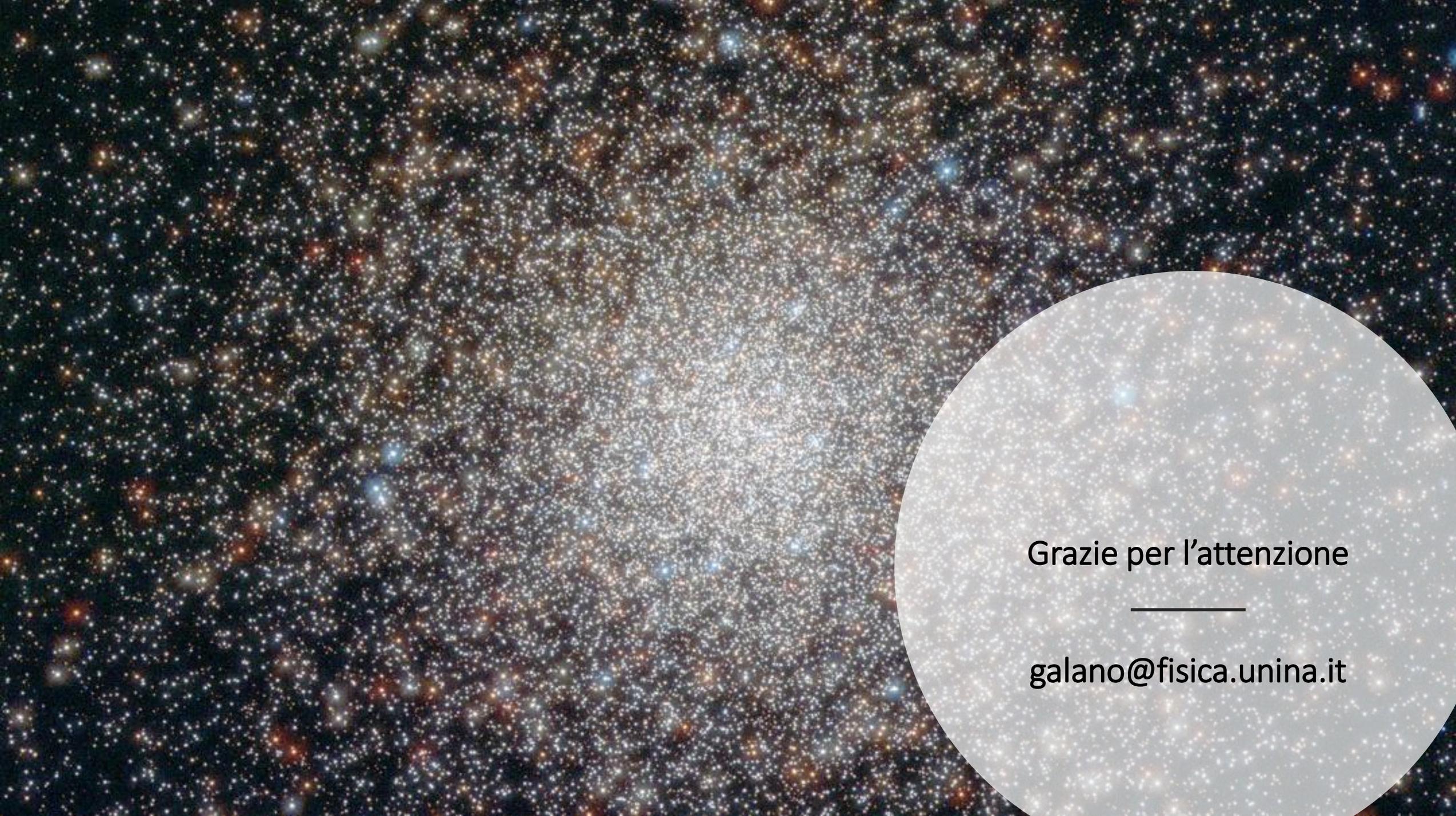
Supernova SN 2015F

Video Credit & Copyright:
Changsu Choi & Myungshin Im
(Seoul National University)





Event Horizon Telescope (Eht): progetto BlackHoleCam



Grazie per l'attenzione

galano@fisica.unina.it



Note

Ciclo CNO

Risultato netto del ciclo CNO: partendo da quattro protoni, si producono una particella α , due positroni e due neutrini, con rilascio di energia sotto forma di raggi gamma. I nuclei di carbonio, azoto e ossigeno, dai quali il ciclo trae il nome, svolgono il ruolo di catalizzatori nella combustione nucleare dell'idrogeno.

Le reazioni del ciclo carbonio-azoto sono le seguenti:

