

Lezione all'Università di Trieste presso il corso di paleontologia  
del Professore Nevio Pugliese



**ALLA RICERCA DI VITA  
IN AMBIENTI ESTREMI**

**Julian Chela-Flores**

The Abdus Salam ICTP, Trieste, Italia  
ed IDEA, Caracas, Bolivarian Republic of Venezuela

# Collaborazioni

**Aranya B. BHATTACHERJEE**

*Department of Physics, ARSD College,  
University of Delhi, New Delhi, India,*

**Suman DUDEJA**

*Department of Chemistry, ARSD College,  
University of Delhi, New Delhi, India.*

**Moises SANTILLAN**

*Computational Systems Biology  
Laboratory, Centro de Investigación y  
Estudios Avanzados  
del IPN, Unidad Monterrey, Mexico*

UK Penetrator Consortium



# La lezione

- 1. *La vita su due ambienti estremi terrestre*
- 2. Può la vita emergere in un ambiente estremo?
- 3. Può la Luna aiutarci nell' astrobiologia?
- 4. Alla ricerca di vita nel Sistema di Solare.
- 5. I nuovi ambienti estremi in altri sistemi solare.



# La vita su due ambienti estremi sulla Terra

**1. Canada**

**2. L'Antartide**

# Ellesmere Island, Canada

**Macchie di zolfo**



Gleeson, D., Pappalardo, R. T., Grasby, S. E., Anderson M. S., Beauchamp, B., Castano, R., Chien, S., Doggett, T., Mandrake, L., and Wagstaff, K. (2010) Characterization of a sulfur-rich, Arctic spring site and field analog of Europa using hyperspectral data. *Remote sensing of Environment*, 114, 1297.1311.



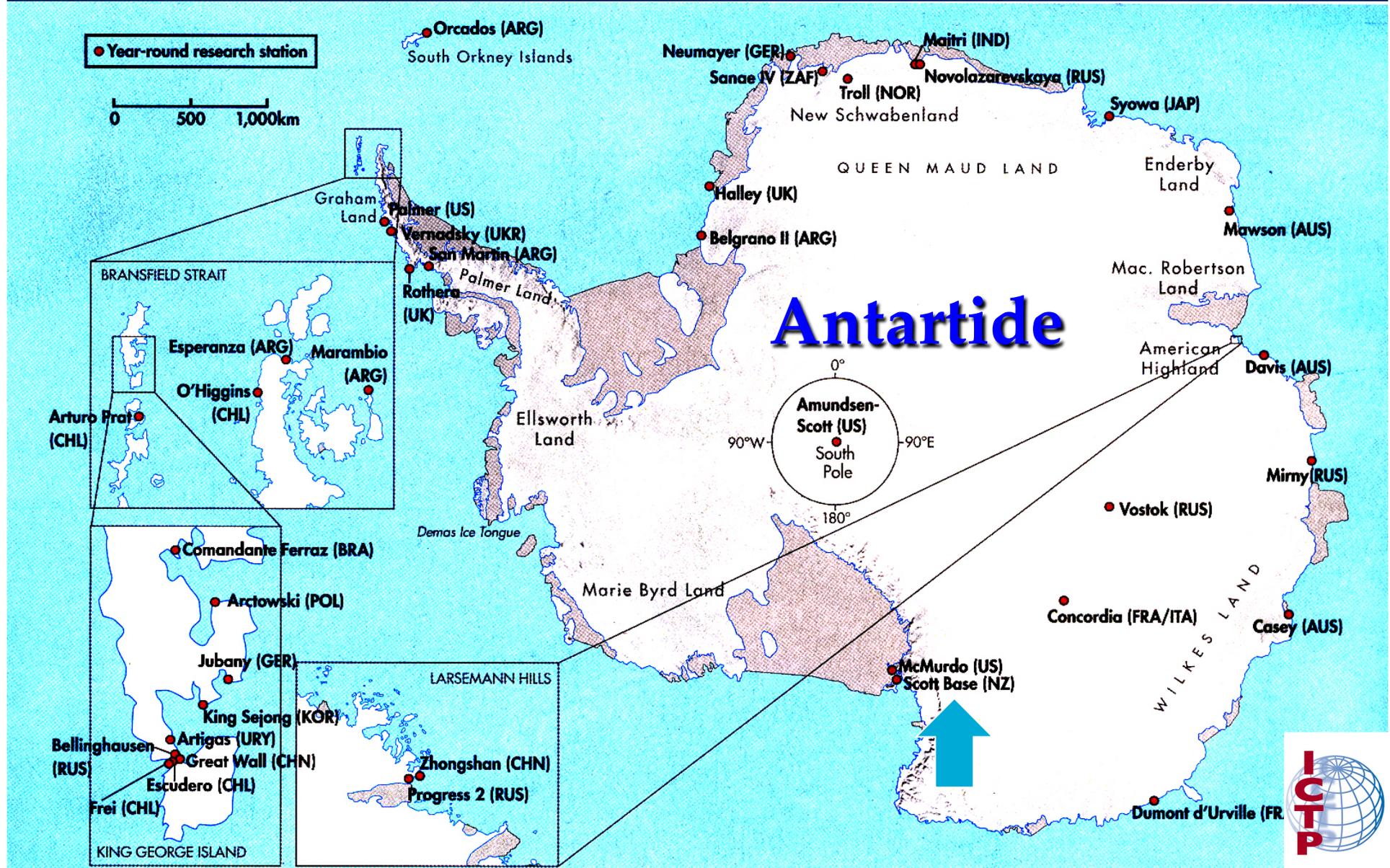


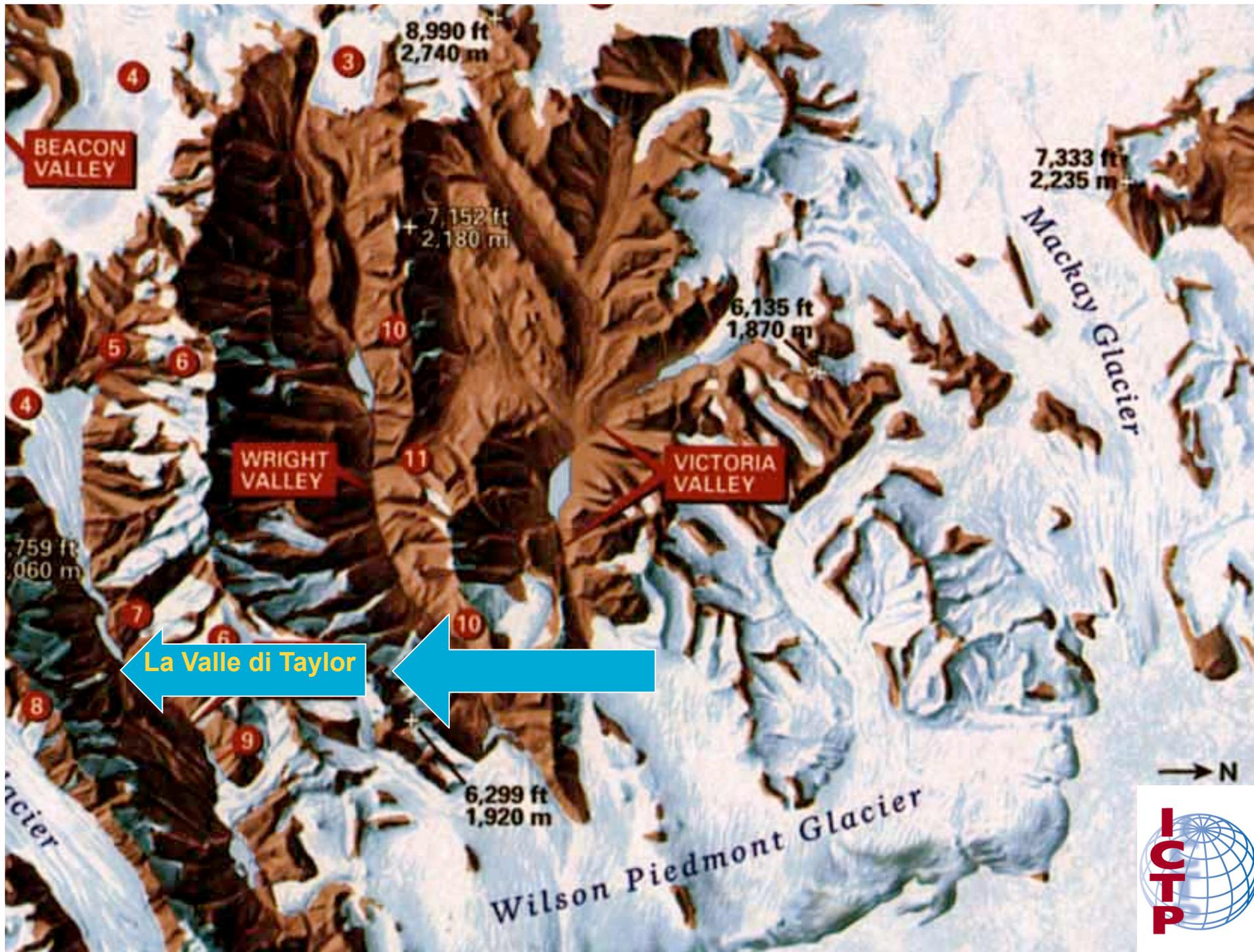
**“Catterate di Sangue”,  
Antartide.  
(Vicini alle Valle di Taylor.)**

**Macchie di zolfo**



# Dov'è la Valle di Taylor?







“la valle della morte”,

C: Ghiacciaio Canada

F: Lago Fryxell

H: Lago Hoare

C

F

H

La valle di (Griffith) Taylor (1911)



# Vita procariotica (valli secchi)

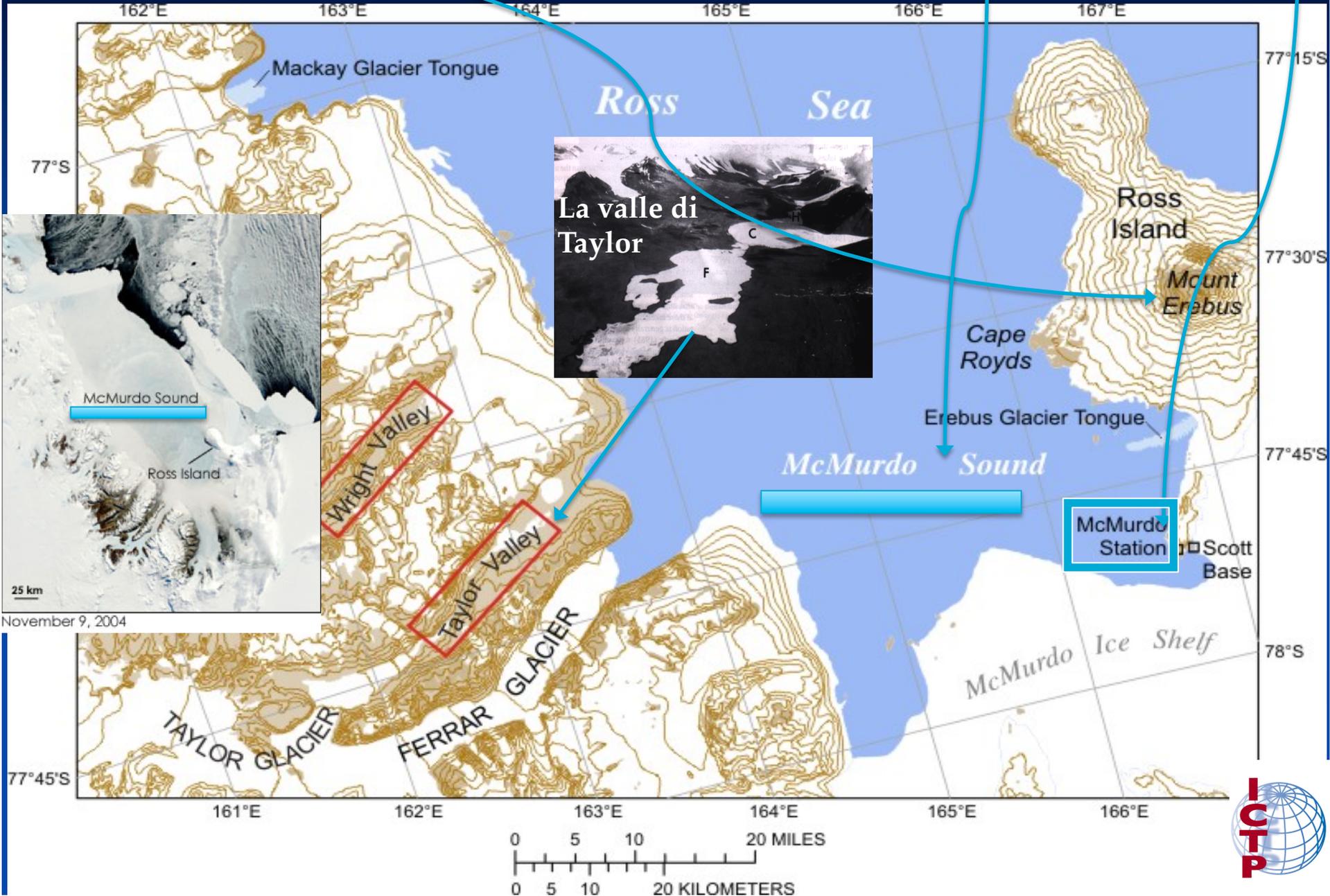
Organismi	Dominio	Habitat
cianobatteri	Batteri	Laghi Chad, Fryxell e Vanda
<i>Clostridium</i>	Batteri	Laghi Fryxell e Hoare
<i>Leptothrix</i>	Batteri	Laghi Fryxell e Hoare



# Vita eucariotica (valli secchi)

Organismi	Dominio	Habitat
diatomi	Eucarya (Bacillariophyta)	Lago Vostok (profondità 2375m)
<i>Chlamydomonas subcaudata</i>	Eucarya (Chlorophyta)	Laghi Bonney e Hoare
Lievito	Eucarya (Ascomycota)	Lago Vostok (nel ghiaccio sopra)





# Stazione di McMurdo: La base di ricerca più grande dell'Antartide



# Organismi acquatici in condizione estreme nell'Antartide

- In Antartide c'è un ecosistema dove troviamo organismi multicellulari.



- Sotto il mare di McMurdo c'è una grande varietà di vita animale.

# **Immagine sopra il mare ghiacciato di McMurdo**





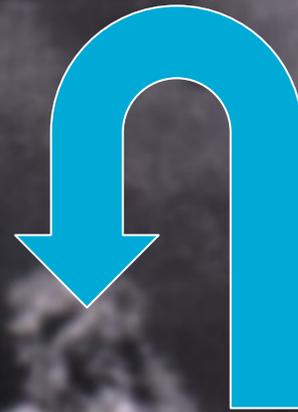
Superficie di ghiaccio

Nel mare di McMurdo la vita è abbondante

**H: Lago Hoare  
(1.8 km<sup>2</sup>)**



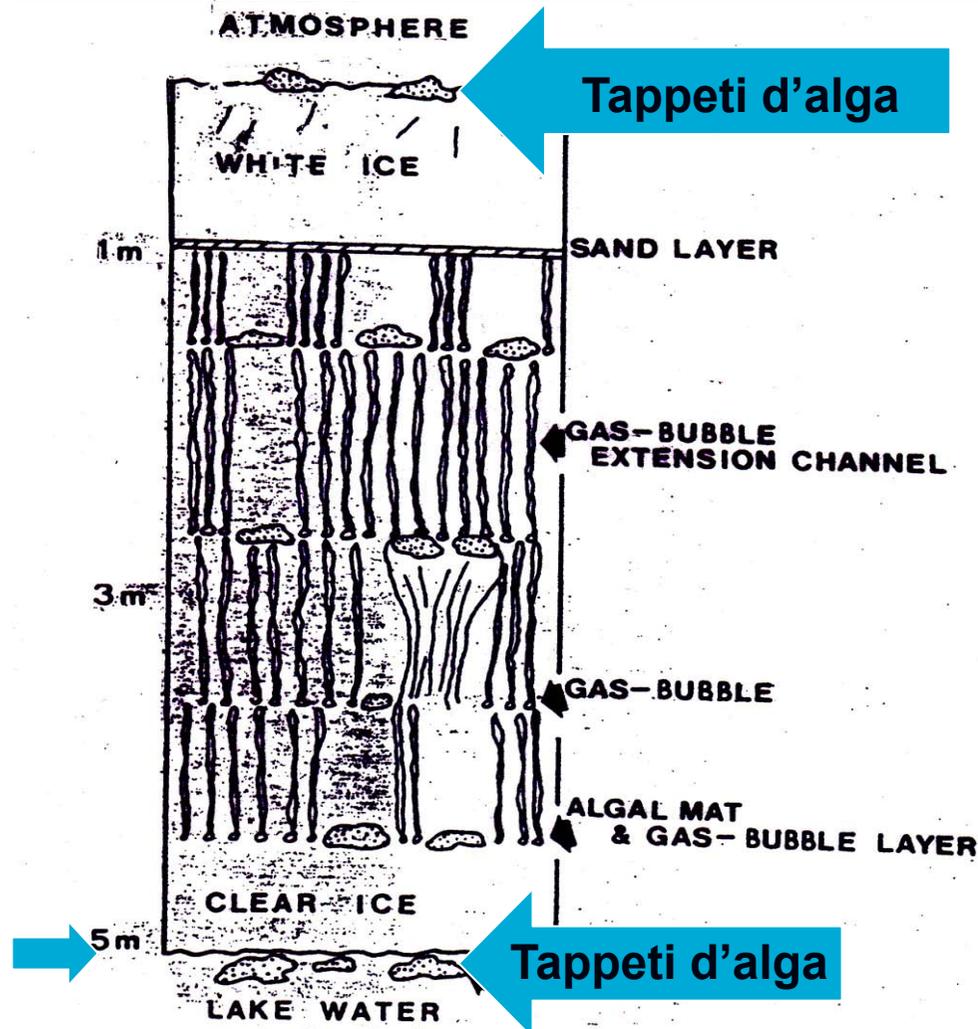
# Sotto la superficie del Lago Hoare



Tappeti' d'alga



# La superficie ghiacciata del Lago Hoare (La valle di Taylor)



## Traffico di materia organica attraverso la superficie

## Lake Hoare Perdita annuale (Kg)

Si

573.1

Al

137.2

Fe

76.6

Mg

35.4

Ca

105.9



S

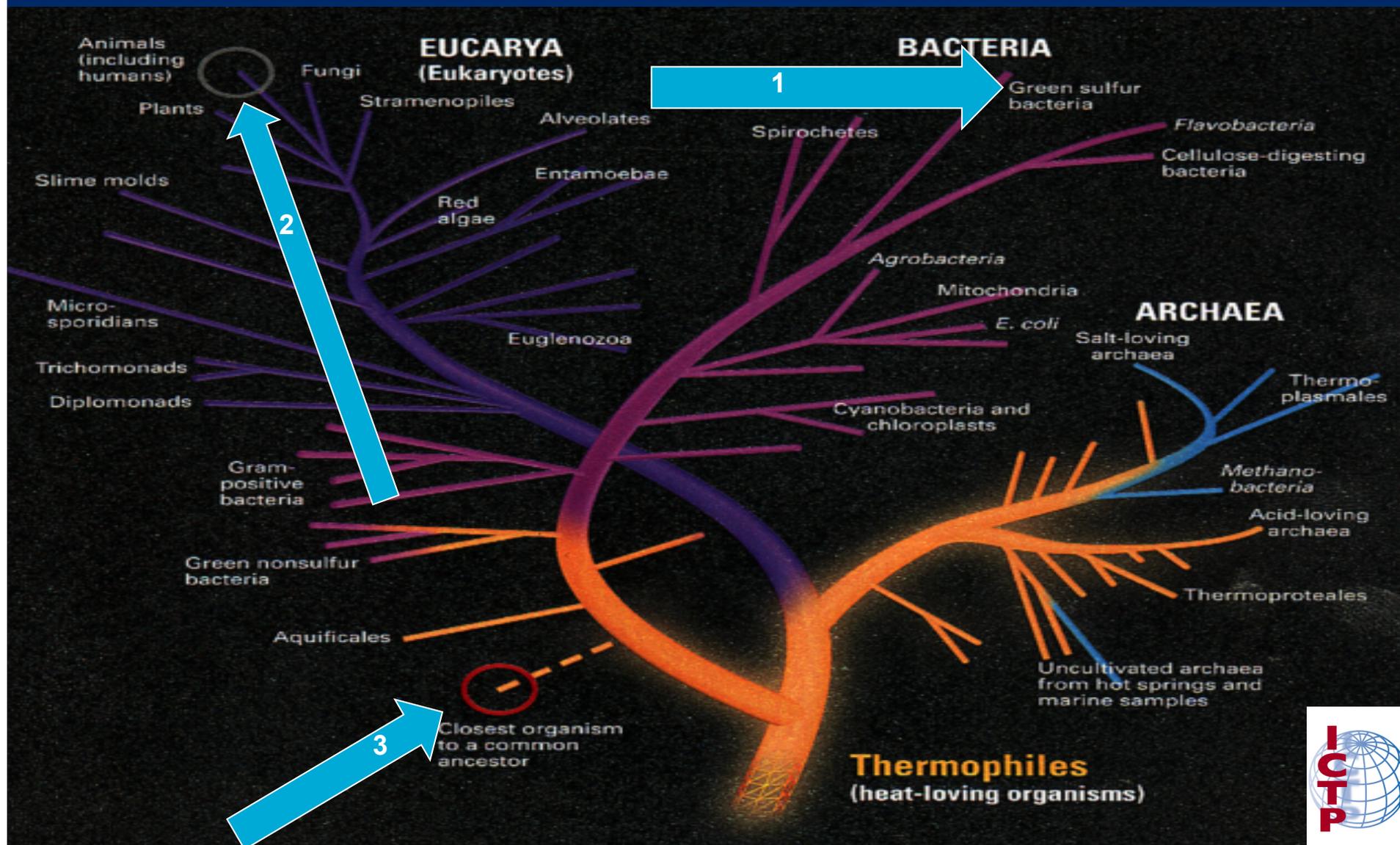


56.6



# Biogeochimica (isotopi stabili)

# Alcuni microbi sono in grado di cambiare la distribuzione degli isotopi di zolfo



# Il parametro $\delta$

$$\delta^{34}\text{S} = \left[ \left( \frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{ca} / \left( \frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{st} - 1 \right] \times 10^3 \text{ [‰, MCD]}$$

- Per un campione (ca) il suo valore è vicino a zero quando esse coincide con il valore di una meteorite standard (st): la meteorite del Cañón Diablo (MCD).
- Ci sono diverse frammenti MCD di un asteroide che 50 mille anni fa ha prodotto il cratere nell'Arizona.

# Un frammento della meteorite di Cañón Diablo



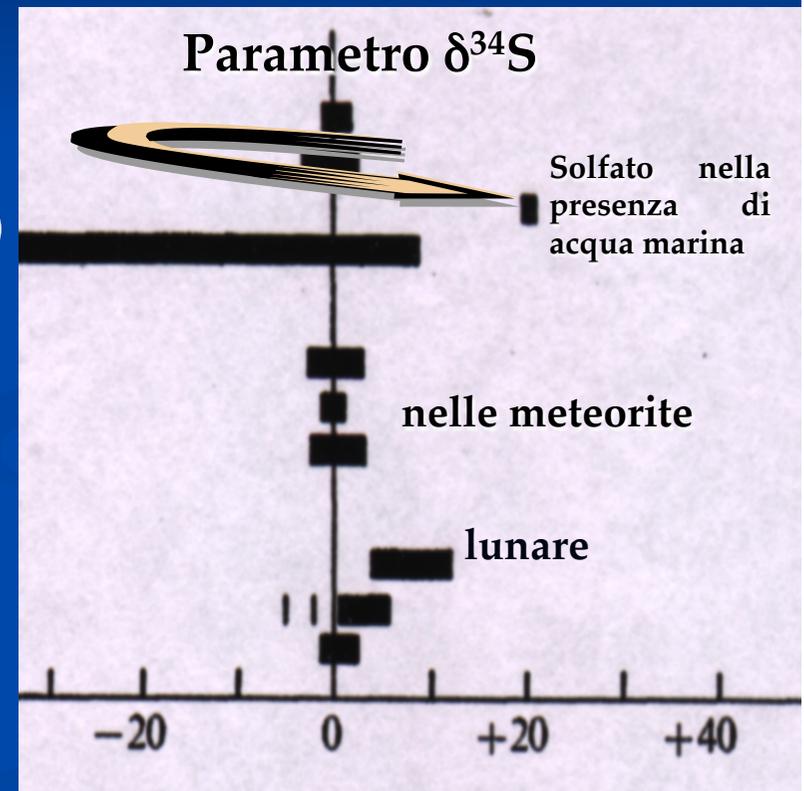
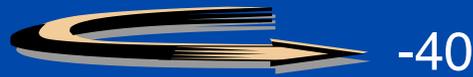
# Il Crattere di Arizona



# Presenza di zolfo nel sistema solare

➤ Il zolfo in un campione geologico in cui la frazione isotopica è notevolmente alterata capita soltanto all'attività dei microbi che sono in grado di partecipare nel metabolismo del zolfo.

➤ Il zolfo, con questa frazione isotopica alterata considerevolmente, è di fonte marina, vicino alla costa della California (pirita di origine biologico).



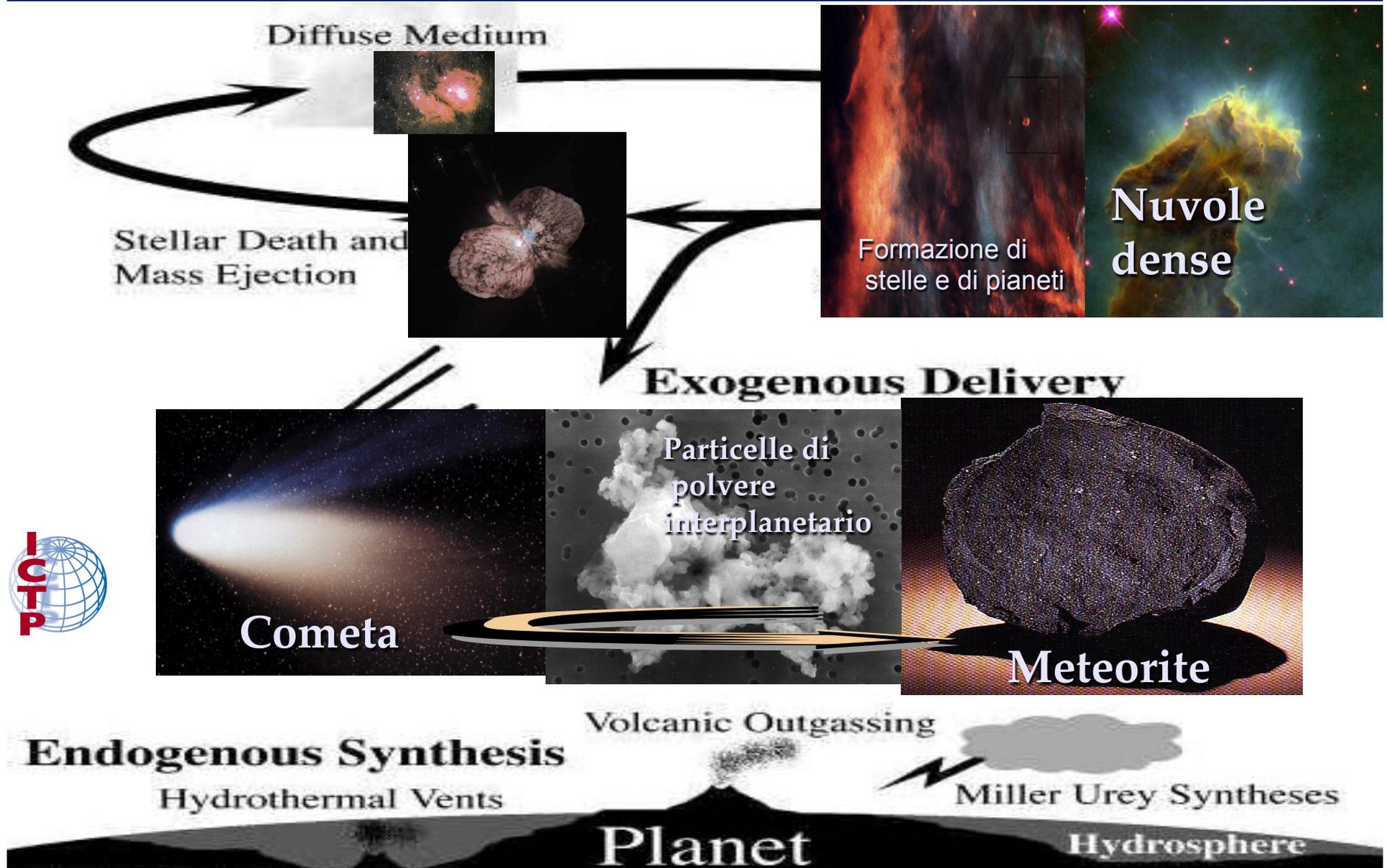
➤ 2. Può la vita emergere in un ambiente estremo?



# Per rispondere dobbiamo considerare l'astrobiologia

- L'origine della vita nell'universo
- L'evoluzione della vita nell'universo
- La distribuzione della vita nell'universo
- Il destino della vita nell'universo.

# Cosa ha capitato sulla Terra primitiva?



# La biochimica della meteorite Murchison

Compound	In meteorites	In biology
<i>Biochemical building blocks</i>		
Amino acids	+ <sup>a,b</sup>	Proteins
Fatty acids	+ <sup>c</sup>	Membranes
Glycerol	+	Membranes
Inorganic phosphate	+	Membranes and nucleic acids
Purines	+	Nucleic acids
Pyrimidines	+	Nucleic acids
Ribose and deoxyribose	—	Nucleic acids



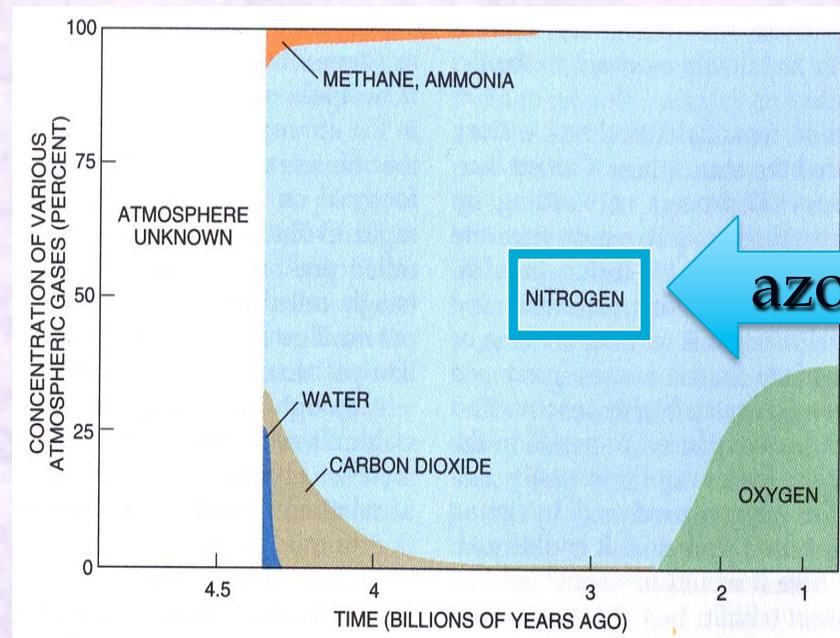
# Elementi delle comete

Compound	In Hale-Bopp
H <sub>2</sub> O	100
CO	20
CO <sub>2</sub>	20
H <sub>2</sub> CO	0.1
CH <sub>3</sub> OH	2
HCOOH	~0.05
HNCO	0.1
NH <sub>2</sub> CHO	~0.01
HCOOCH <sub>3</sub>	~0.05
CH <sub>4</sub>	~0.6
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	~0.1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> *	~0.3
NH <sub>3</sub>	0.6
HCN	0.2
HNC	0.04
CH <sub>3</sub> CN	0.02



# Come ha cominciato la vita sulla Terra?

## Paleoatmosfera:



Volcanic Outgassing

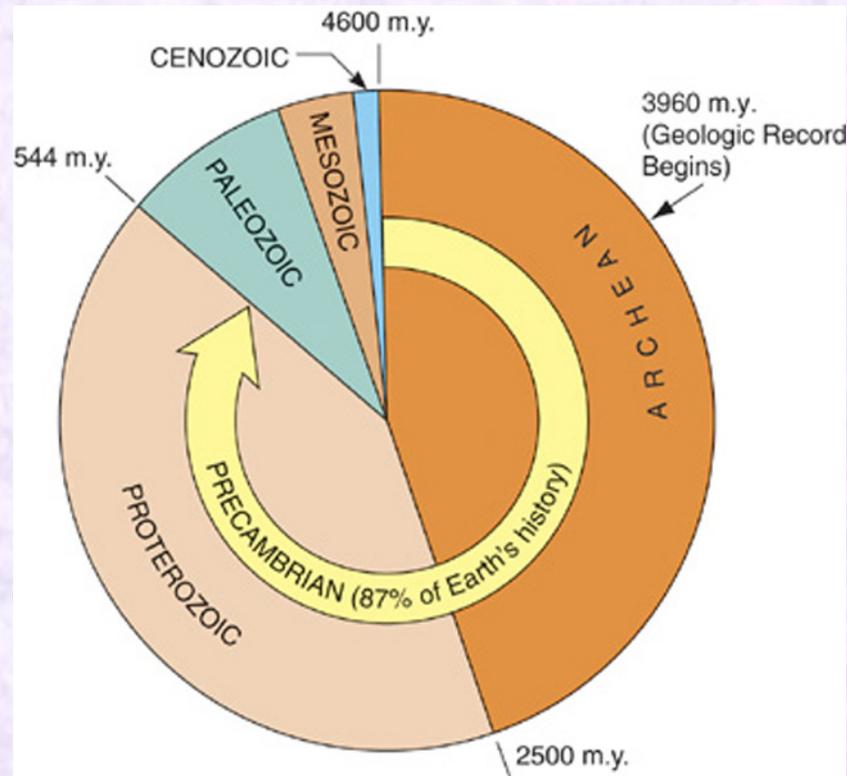
Miller Urey Syntheses

Planet

Hydrosphere



# Quando emerge la vita sulla Terra?



Volcanic Outgassing

Miller Urey Syntheses

Planet

Hydrosphere

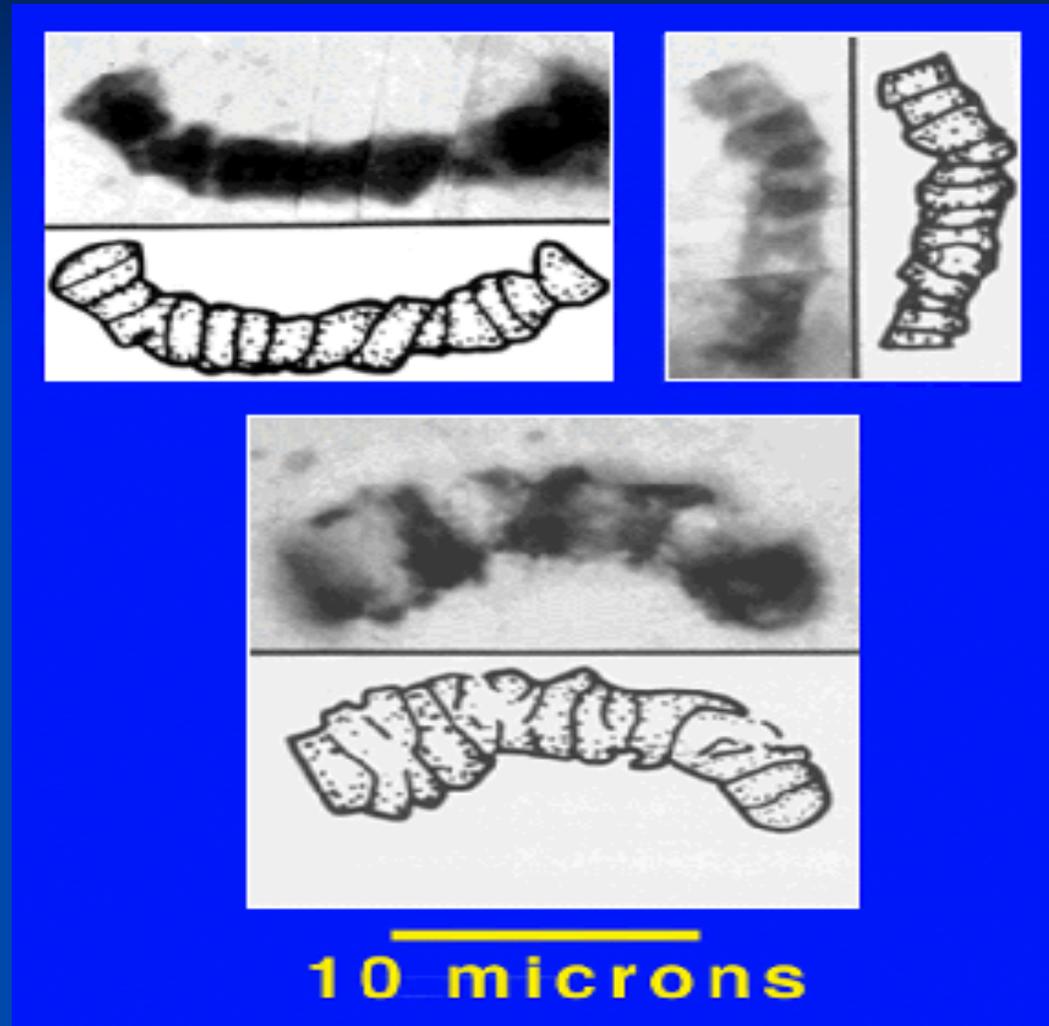


# Stromatoliti, Shark Bay, Australia



# Fossili delle cianobatteri

(Australia, circa 3.5 Ga BP)



*Credit: Microfossils discovered in Western Australia by J. William Schopf, University of California, Los Angeles.  
A photograph of each specimen appears with an interpretive drawing of the structure.  
(Photograph courtesy of J. William Schopf).*



# Quando ha cominciato la vita sulla Terra?

In ambienti estremi: piu' di 3 miliardi di anni fa in presenza di vulcani e senz'ossigeno.



# Dove emerge la vita sulla Terra?

East Pacific Rise

South America

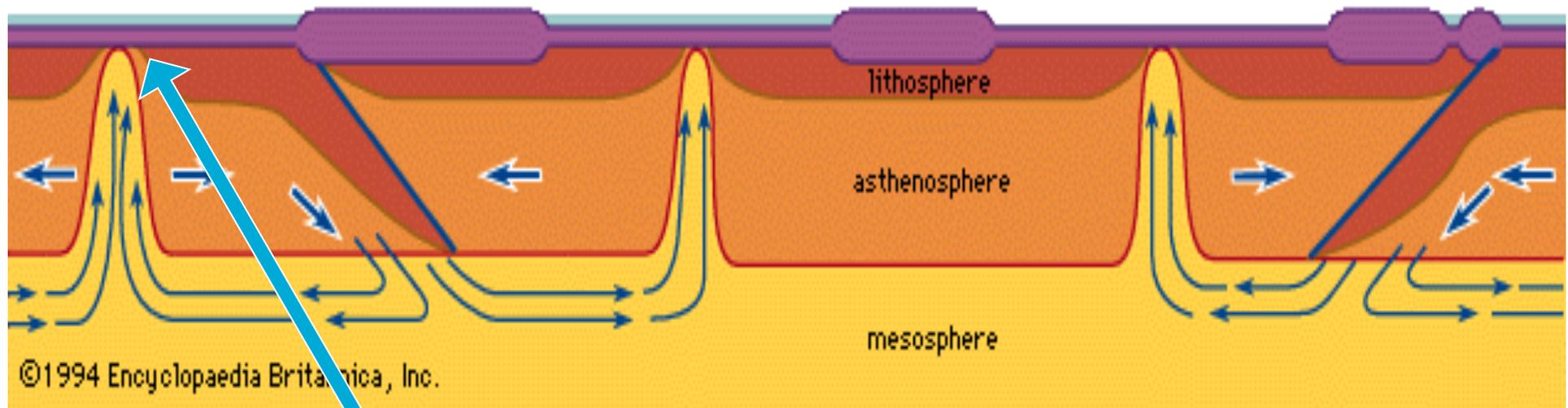
Mid-Atlantic Ridge

Africa

Mid-Indian Ridge

Australia

New Zealand



## Endogenous Synthesis

Hydrothermal Vents

Volcanic Outgassing

Miller Urey Syntheses

# Planet

Hydrosphere



Dove hanno cominciato i mattoni della vita sulla Terra?

In un ambiente estremo, probabilmente negli fondali marini attorno alle fumarole



# *Riftia* è un anellide policheta (cioè, un verme tubo gigante)

(East Pacific Rise, placca tettonica divergente nel fondo oceanico del bacino orientale)



### 3. Può la Luna aiutarci nell'astrobiologia?



# Proposta per l'ESA come soggetto scientifico nella "Visione Cosmica L2/3"

## Lunar Science as a Window into the Early History of the Solar System

A White Paper submitted in response to ESA's Call for Proposals for Cosmic Vision L2/3 Science Themes

I. A. Crawford, K.H. Joy, N. Bowles, R. Jaumann, et al.

(For full list of contributors and endorsers see overleaf)



Frontispiece: The Earth and Moon photographed together by the Galileo spacecraft from a distance of 6.2 million km. The binary nature of the Earth-Moon system means that the Moon's history is intimately connected with that of our own planet (NASA).

### Contributors and Endorsers

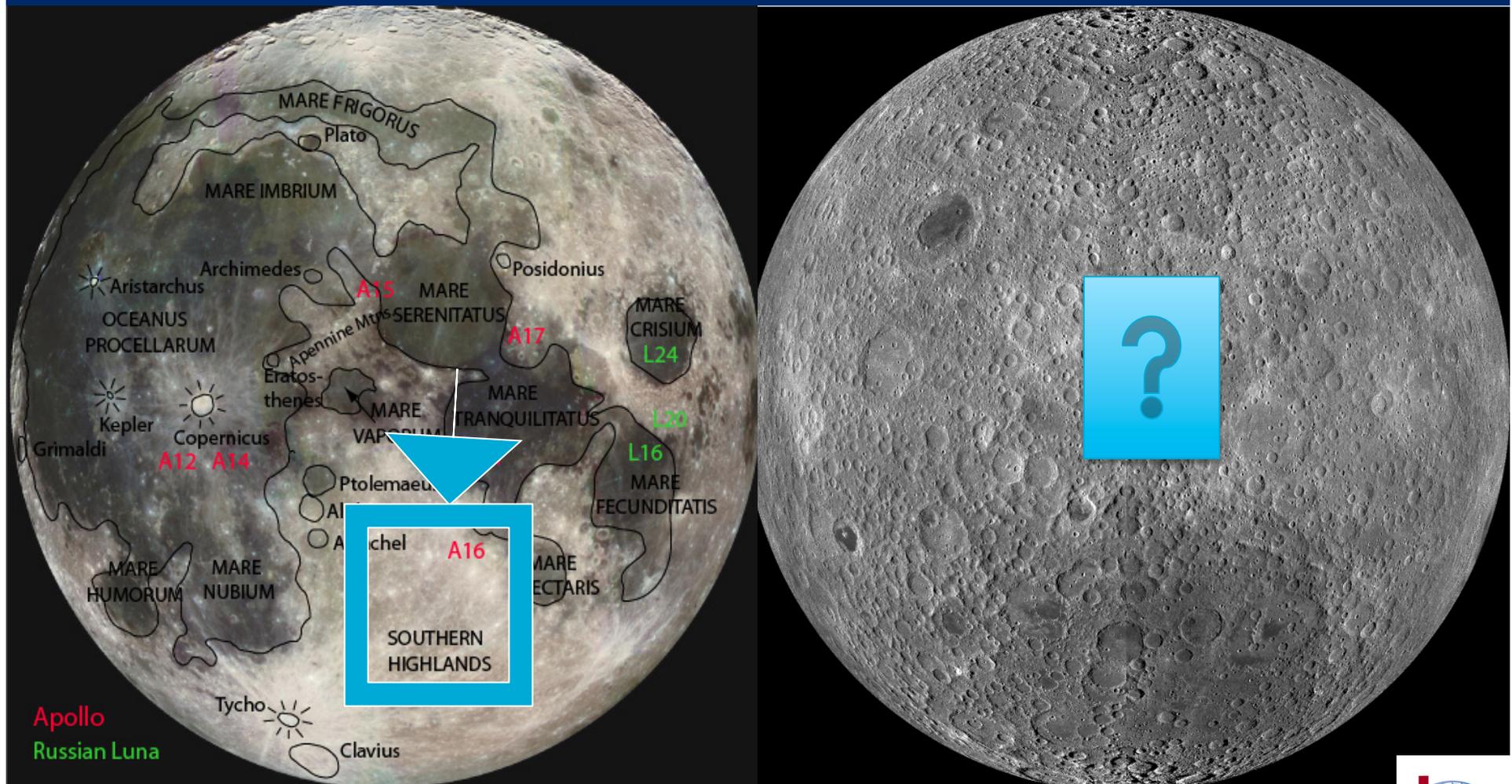
Dr Mahesh Anand, The Open University, UK  
Dr Bill Bottke, Southwest Research Institute, Boulder, CO, USA  
Dr Veronica Bray, Lunar and Planetary Laboratory, Tucson, USA  
Prof Mark Burchell, University of Kent, UK  
Dr James Carpenter, ESA-ESTEC, The Netherlands  
Prof Marc Chaussidon, CRPG-CNRS, Nancy, France  
Prof Julian Chela-Flores, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Italy  
Prof Charles Cockell, University of Edinburgh, UK  
Dr Paolo D'Arrigo, Astrium Ltd, UK  
Dr Jean-Pierre de Vera, DLR, Institute of Planetary Research, Germany  
Prof Heino Falcke, Radboud University, The Netherlands  
Dr Vera Fernandes, Museum für Naturkunde, Berlin, Germany  
Dr Jörg Fritz, Museum für Naturkunde, Berlin, Germany  
Prof Yang Gao, University of Surrey, UK  
Prof Monica Grady, The Open University, UK  
Prof Manuel Grande, Aberystwyth University, UK  
Dr Peter Grindrod, University College London, UK  
Dr Jordi Gutiérrez, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain  
Prof Harry Hiesinger, University of Muenster, Germany  
Dr Marc Klein-Wolt, Radboud University, The Netherlands  
Dr David Kring, Lunar and Planetary Institute, Houston, TX, USA  
Dr Tomas Magna, Czech Geological Survey, Czech Republic  
Prof Bernard Marty, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, France  
Dr Emanuele Monchieri, Astrium Ltd, UK  
Prof Gordon Osinski, University of Western Ontario, Canada  
Prof Alan Smith, Mullard Space Science Laboratory, UK  
Prof Tilman Spohn, DLR, Institute of Planetary Research, Germany  
Dr Nick Teanby, University of Bristol, UK  
Prof Stephan van Gassel, Freie Universität Berlin, Germany  
Prof Mark Wieczorek, Institut de Physique du Globe de Paris, France  
Prof Ian Wright, The Open University, UK  
Prof Wim van Westrenen, VU University Amsterdam, The Netherlands  
Prof Lionel Wilson, Lancaster University, UK  
Prof Robert F. Wimmer-Schweingruber, University of Kiel, Germany  
Dr. Kai Wuennemann, Museum fuer Naturkunde Berlin, Germany

# L'origine della vita nel Sistema Solare



**La Luna sarebbe come un  
straordinario museo  
della Terra primitiva !**

# La esplorazione umana della Luna, come il Polo Sud nell'Antartide, aspetta mezzo secolo per ricominciare



Apollo 16 fu la decima missione con equipaggio umano del programma della NASA



# La regione montagnosa Descartes (nella zona del Southern Highlands)

Isotopi di azoto nel regolito  
lunare sono dieci volte più  
numerosi dell' azoto solare

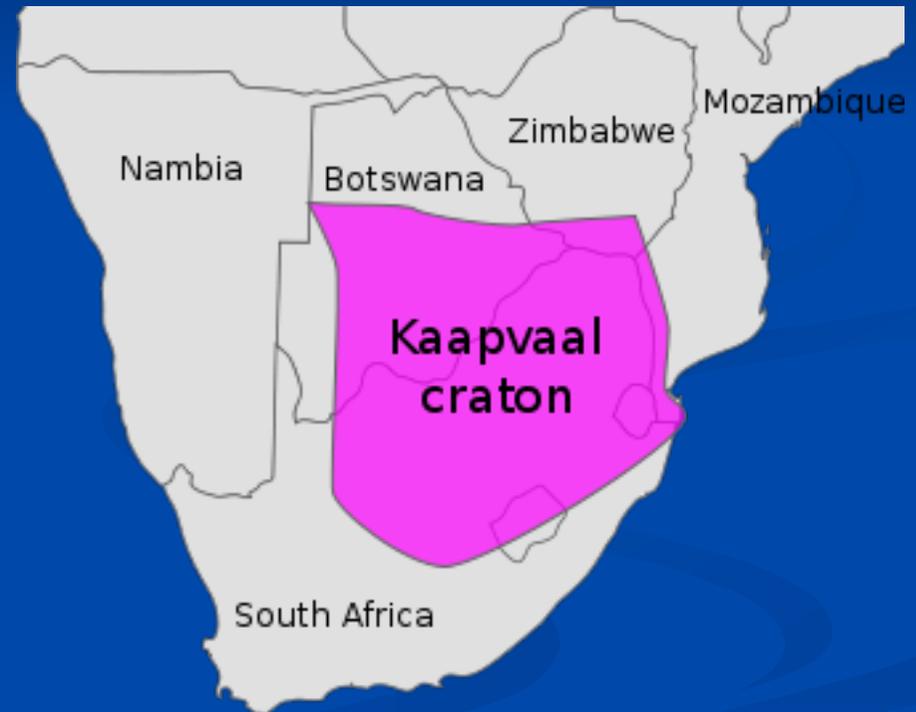


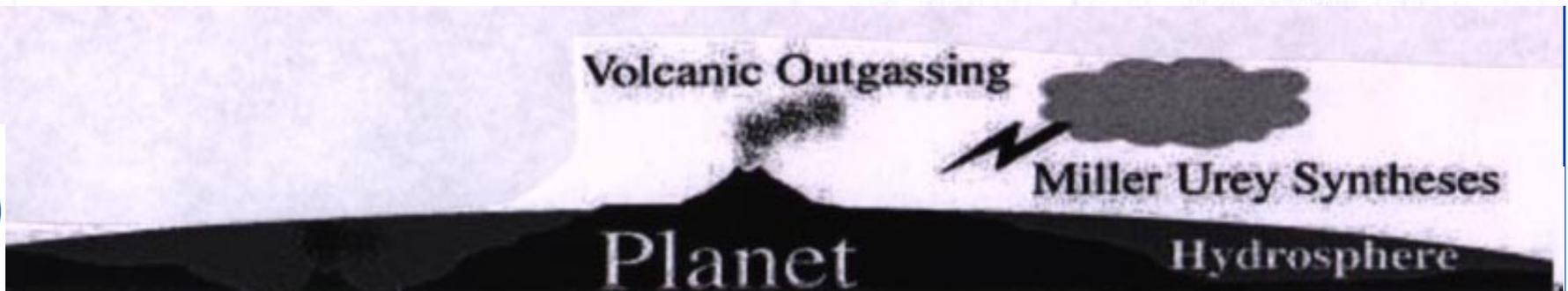
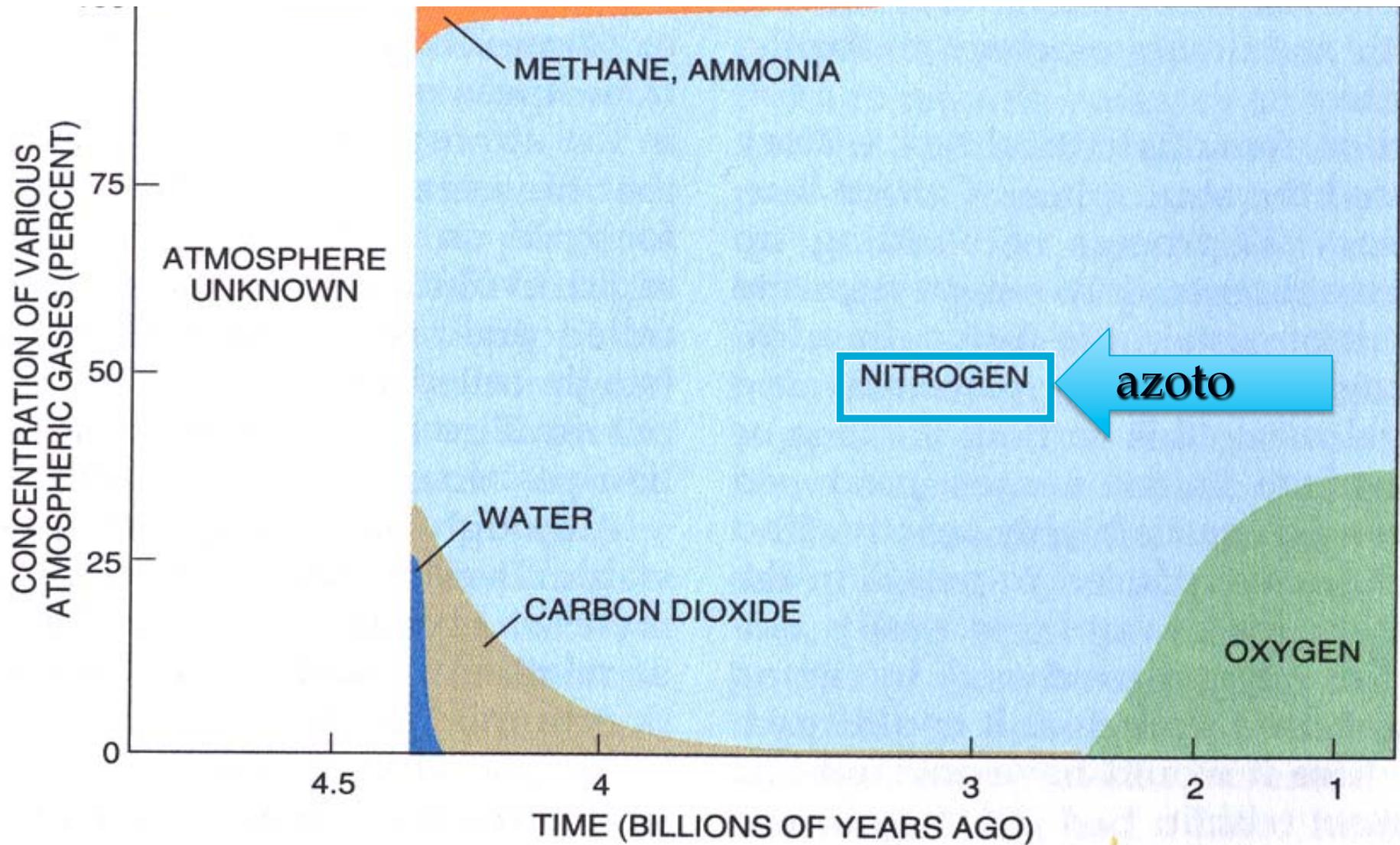
# Il campo geomagnetico terrestre (CGMT)

- Il CGMT e' un campo magnetico che va dal nucleo della Terra fino allo spazio interplanetario dove esse incontra il vento solare.
- Il CGMT ha sempre provveduto protezione alla vita dalle radiazione extraterrestri, compresi i raggi cosmici.

# Il cratone Kaapvaal è un area del Archeano (3.6-2.5 Ga) ancora ben preservata

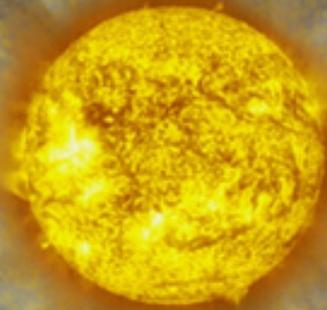
- L'analisi dei particelle può essere interpretata come se il CGMT fosse assente 3.9 Ga fa (Ozima *et al.*, 2005, Tarduno *et al.*, 2010-2013).
- La sovrapposizione del periodo quando il CGMT era assente e già la Luna aveva un regolito stabile e' una ipotesi ragionevole (Ozima-Tadurno)





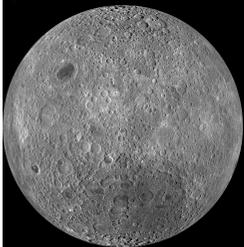
# Il “vento terrestre” (VT)

- Il VT sarebbe prodotto per l'interazione del VS con la atmosfera primitiva-non-protetta dal CGMT.



- Il VT non arrivereve sul lato nascosto della Luna.

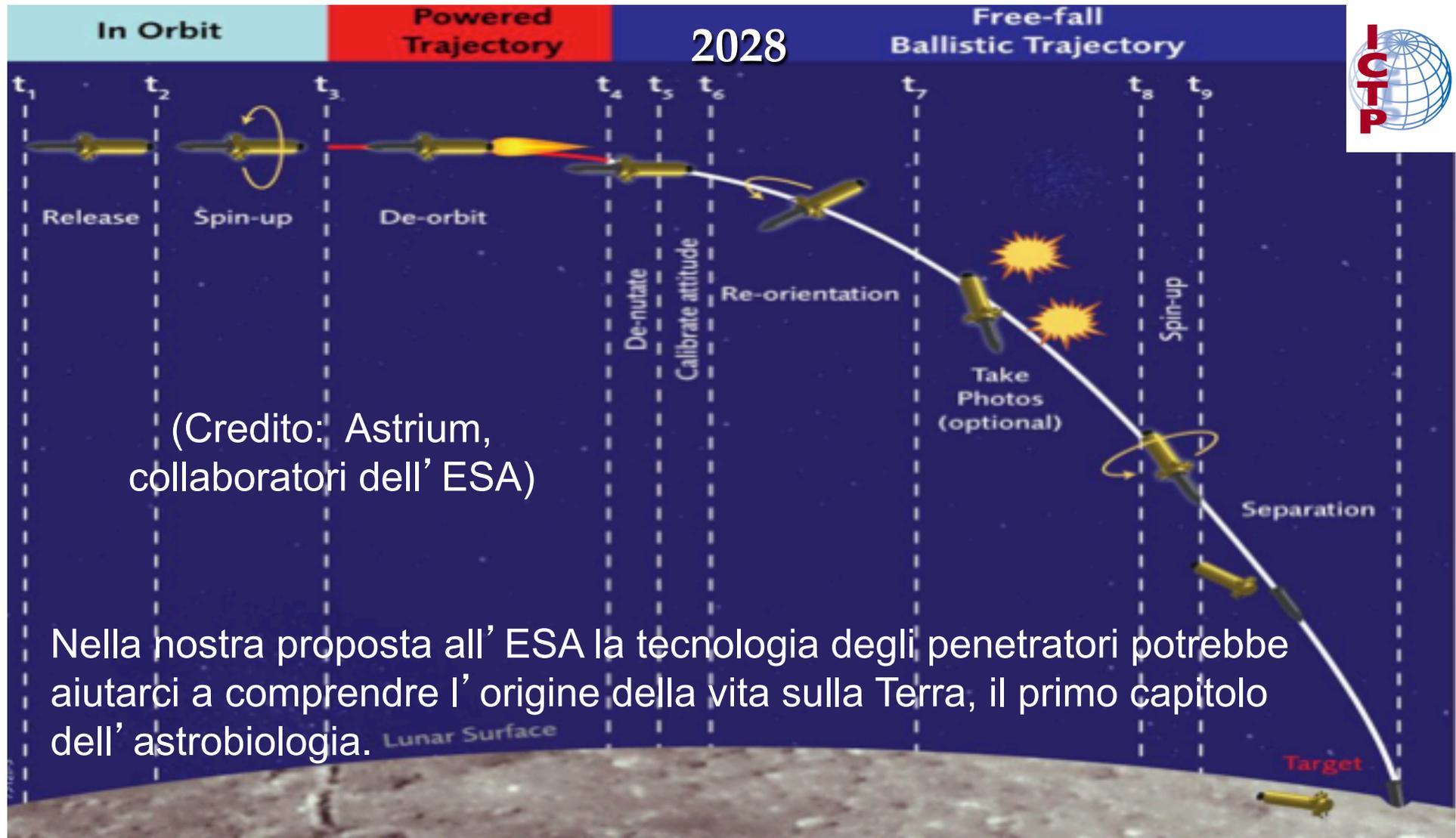
# Il lato nascosto della Luna avrebbe un archivio d'informazione sulla atmosfera terrestre primitiva dominata dall'azoto



Chela-Flores, J. (2012). A case for landing on the moon's farside  
to test nitrogen abundances.

*International Journal of Astrobiology*, 11,61-69





(Credito: Astrium,  
collaboratori dell' ESA)

Nella nostra proposta all' ESA la tecnologia degli penetratori potrebbe aiutarci a comprendere l' origine della vita sulla Terra, il primo capitolo dell' astrobiologia.

Smith, A., I.A Crawford, R.A. Gowen, R. Ambrosi, M. Anand, B. Banerdt, N. Bannister, N. Bowles, C. Braithwaite, P. Brown, J. Chela-Flores, T. Choliner, P. Church, A. J. Coates, T. Colaprete, G. Collins, G. Collinson, T. Cook, R. Elphic, G. Fraser, Y. Gao, E. Gibson, T. Glotch, M. Grande, A. Griffiths, J. Grygorczuk, M. Gudipati, A. Hagermann, J. Heldmann, L. L. Hood, A.P. Jones, K.H. Joy, O. Khavroshkin, G. Klingelhofer, M. Knapmeyer, G. Kramer, D. Lawrence, W. Marczewski, S. McKenna-Lawlor, K. Miljkovic, S. Narendranath, E. Palomba, A. Phipps, W.T. Pike, D. Pullan, J. Rask, D. T. Richard, K. Seweryn, S. Sheridan, M.R. Sims, M. Sweeting, T. Swindle, D. Talboys, L. Taylor, N. Teanby, V. Tong, S. Ulamec, R. Wawrzaszek, M. Wieczorek, L. Wilson, I. Wright (2011) **Lunar Net —A proposal in response to an ESA M3 call in 2010 for a medium sized mission.** *Experimental Astronomy*, 23 (3), pp. 711–740.

## 4. Alla ricerca di vita nel Sistema di Solare.



# Immagini Voyayers e Galileo



The Jovian Family



Io



Europa

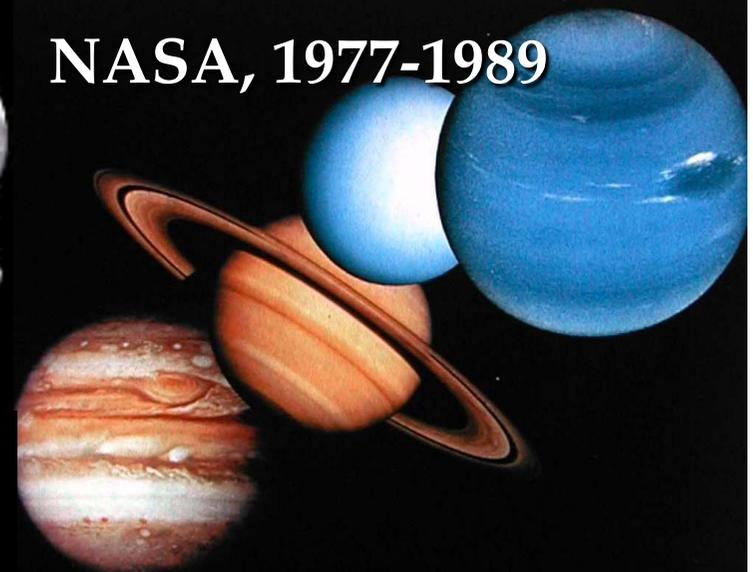


Callisto

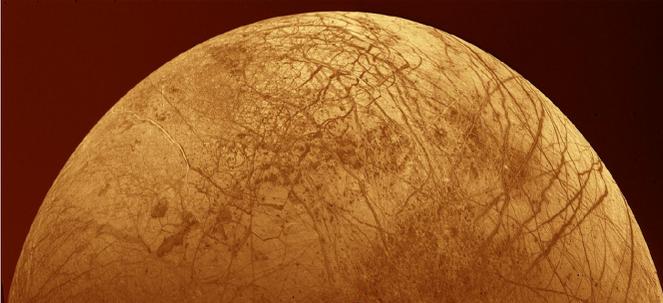


Ganymede

NASA, 1977-1989



La famiglia del Sistema Solare



Voyager



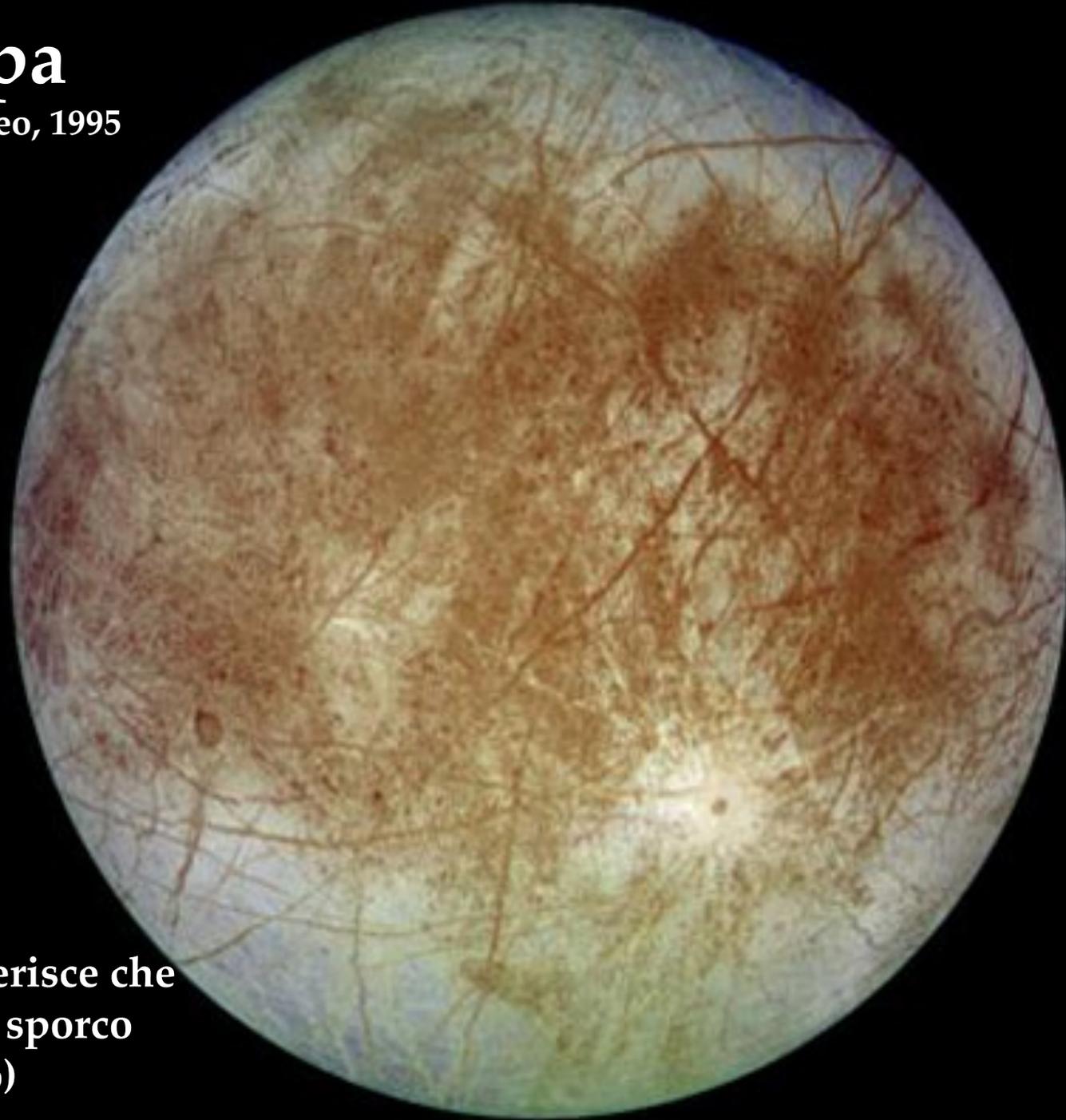
Galileo

La superficie di ghiaccio (Europa)



# Europa

• Missione Galileo, 1995



Il colore suggerisce che  
il ghiaccio è sporco  
(zolfo)



## Laghi vicini alla superficie

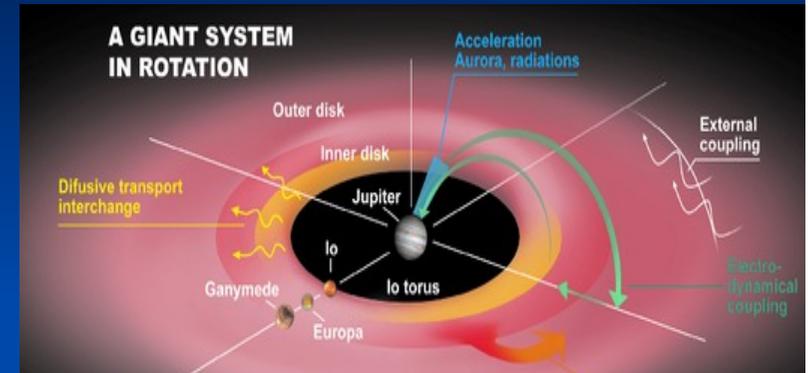


B. E. Schmidt, D. D. Blankenship, G. W. Patterson & P. M. Schenk (2011)  
Active formation of 'chaos terrain' over shallow subsurface water on Europa.  
*Nature* 479, 502–505 (24 November 2011).

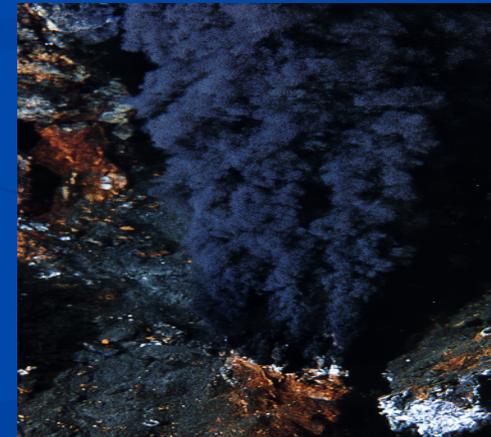


# Possibile fonti della sporcizia

➤ Fonti al di là di Europa: ioni del plasma di Giove.



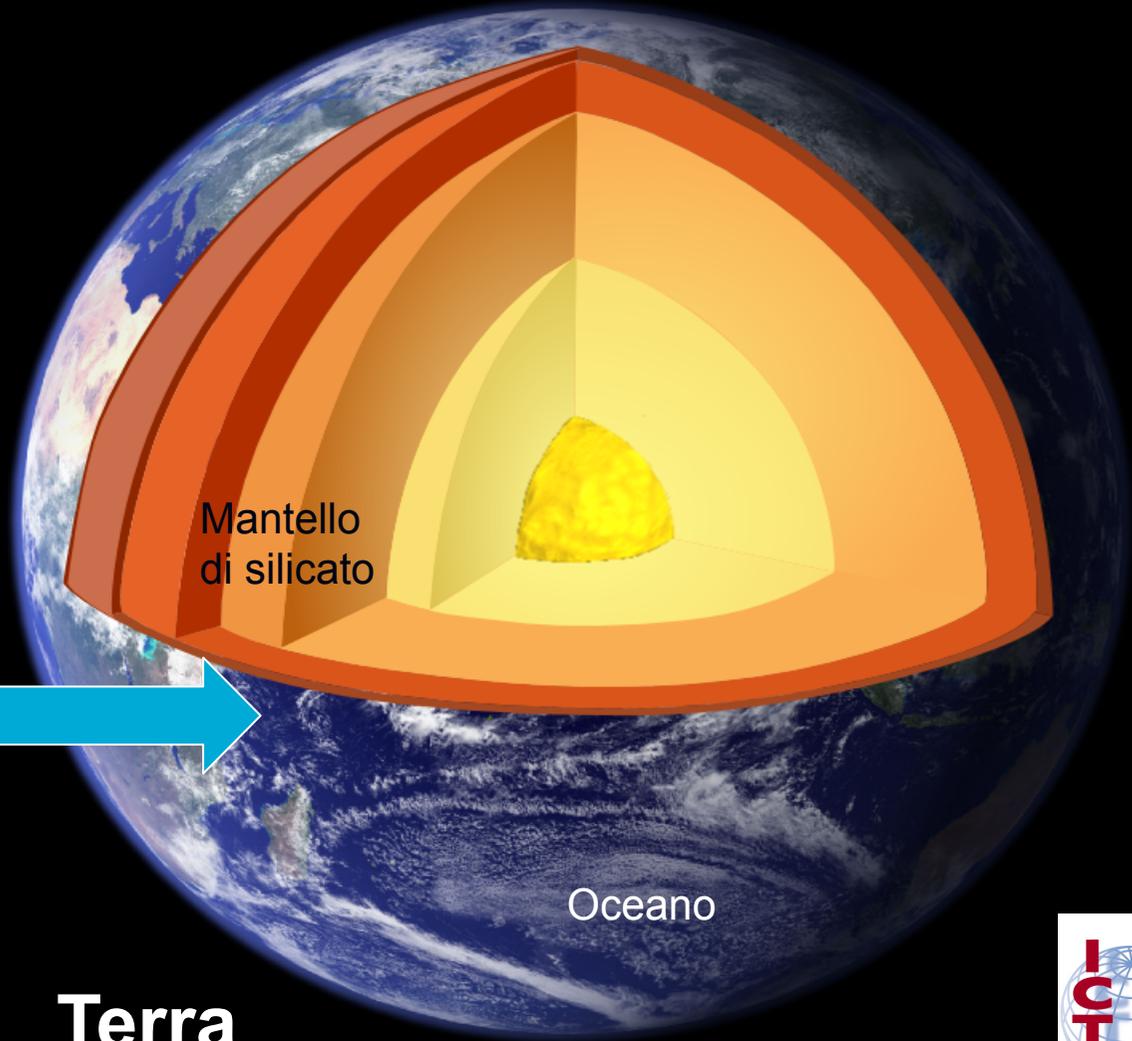
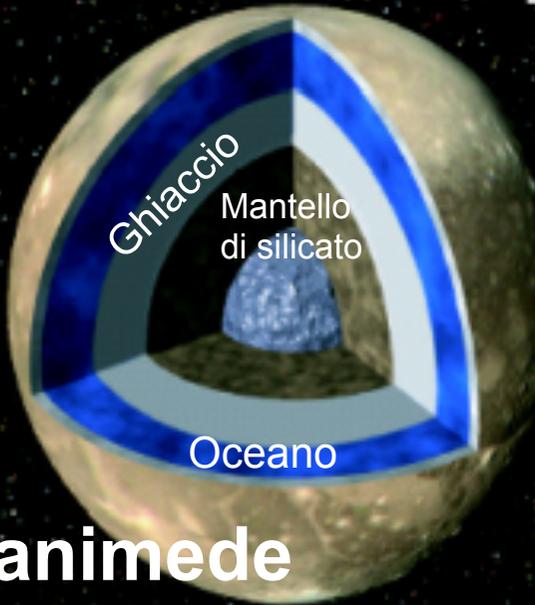
➤ Fonte interna: zolfo biogenico prodotto per gli organismi estremofili che possono essere rintracciati agli antenati che emergono sulle fumarole.



L'analogia con la nostra presentazione  
sull'Antartide (Lago Hoare) dovrebbe essere evidente



# Possiamo scoprire la vita su Europa?



# Un test è possibile per l'abitabilità di Europa

➤ Possiamo prevedere che ci siano risultati diversi fra Europa e Ganimede:

— un grande valore negativo di  $\delta^{34}\text{S}$  per Europa,

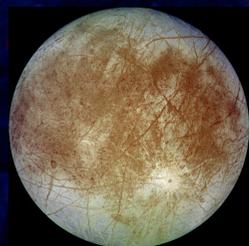
— un piccolo valore negativo di  $\delta^{34}\text{S}$  per Ganimede.

Chela-Flores, 2010, *Int. J. Astrobiol.*

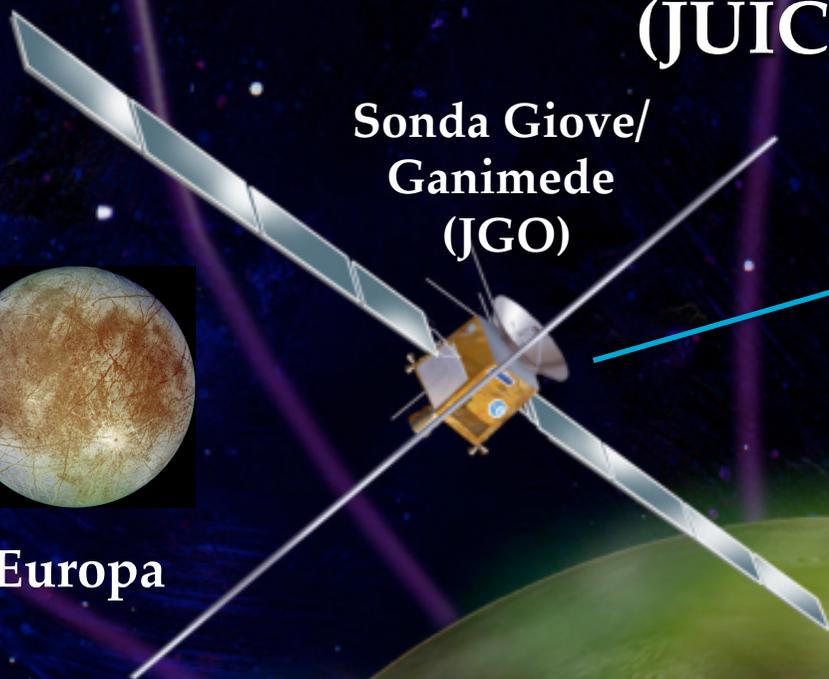
Instrumentation for the search of habitable ecosystems  
in the future exploration of Europa and Ganymede.



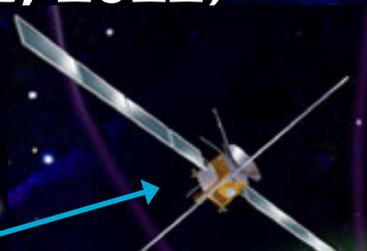
# The Jupiter Icy Moon Explorer Mission (JUICE, 2022)



Europa



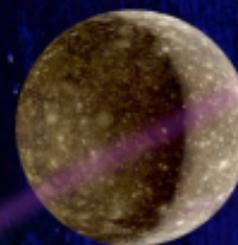
Sonda Giove/  
Ganimede  
(JGO)



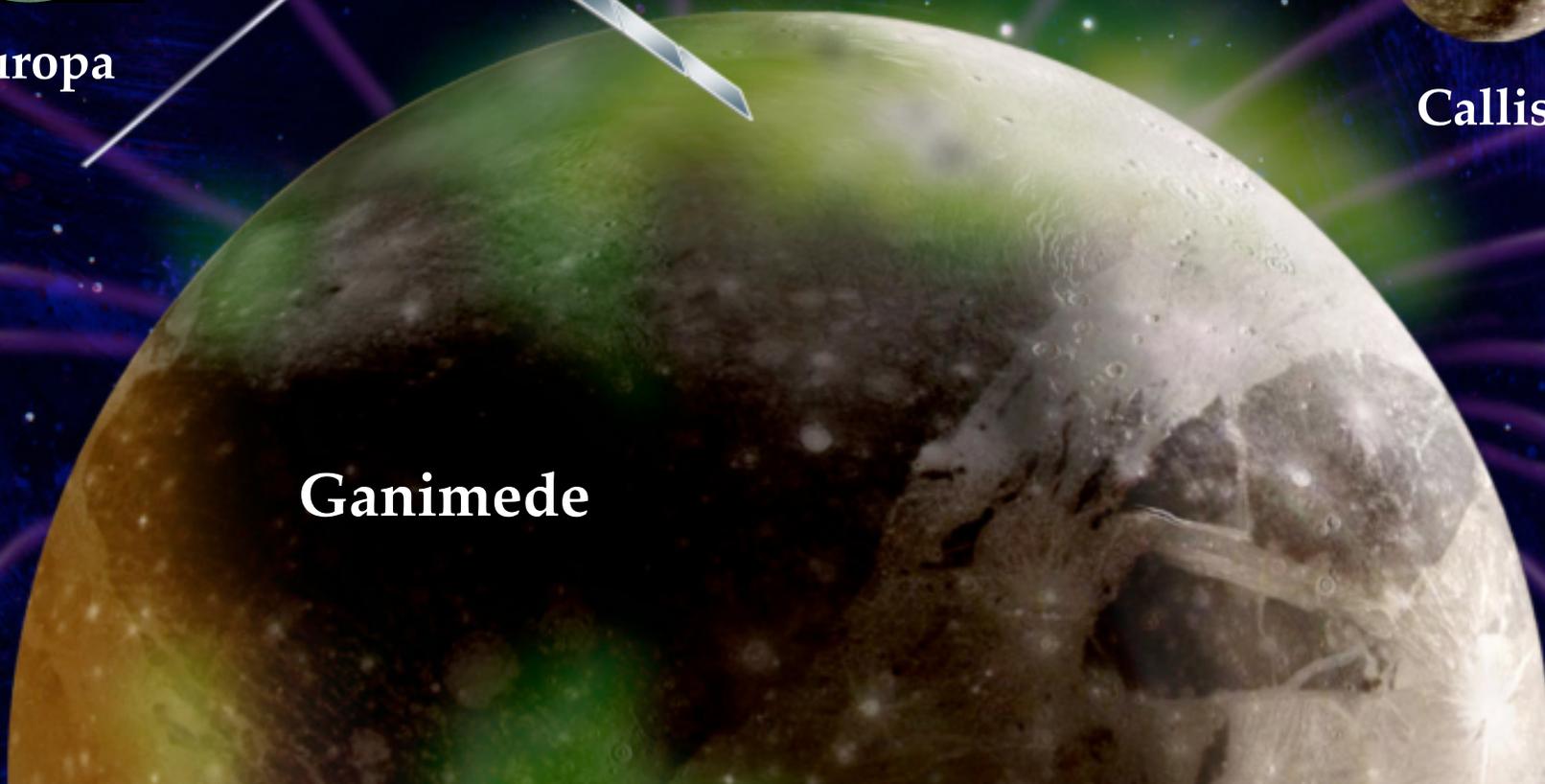
JGO con MAJIS e SWI



Io



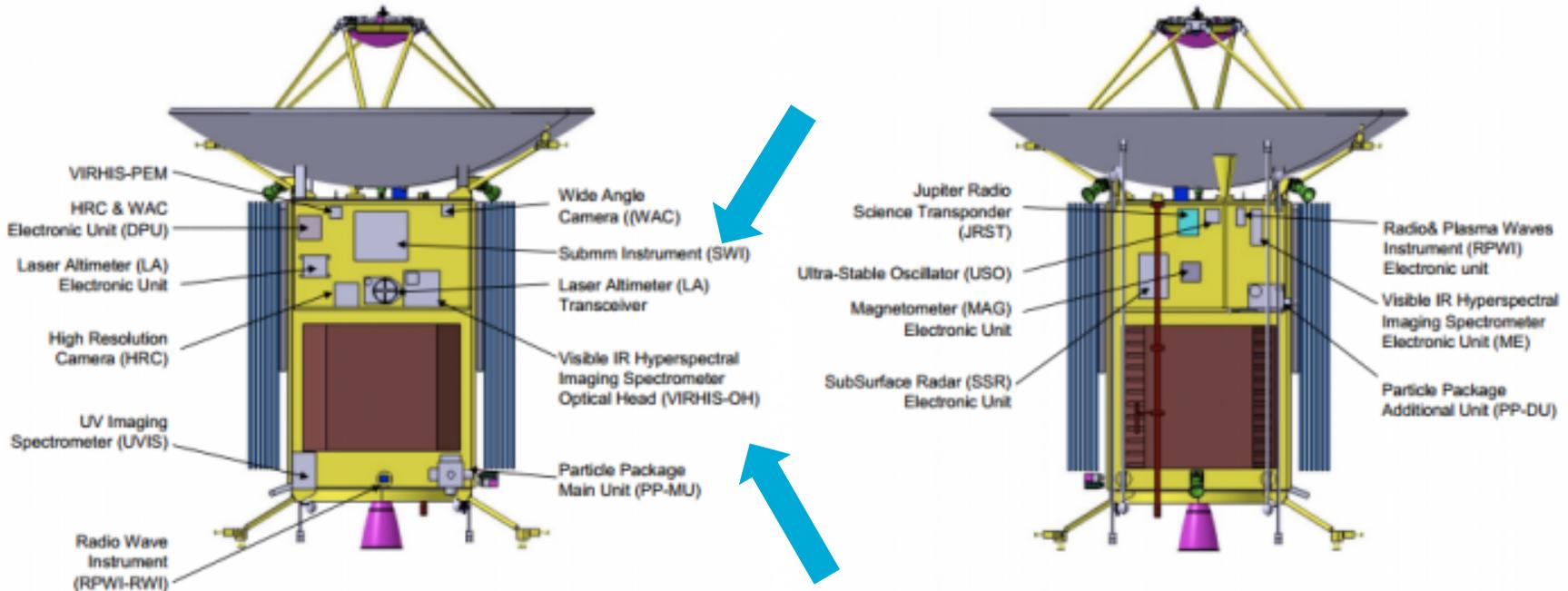
Callisto



Ganimede



# Gli strumenti scientifici della missione JUICE



# Gli strumenti scientifici della missione JUICE

Nella missione JUICE, con due degli 11 strumenti selezionati in Febbraio 2013:

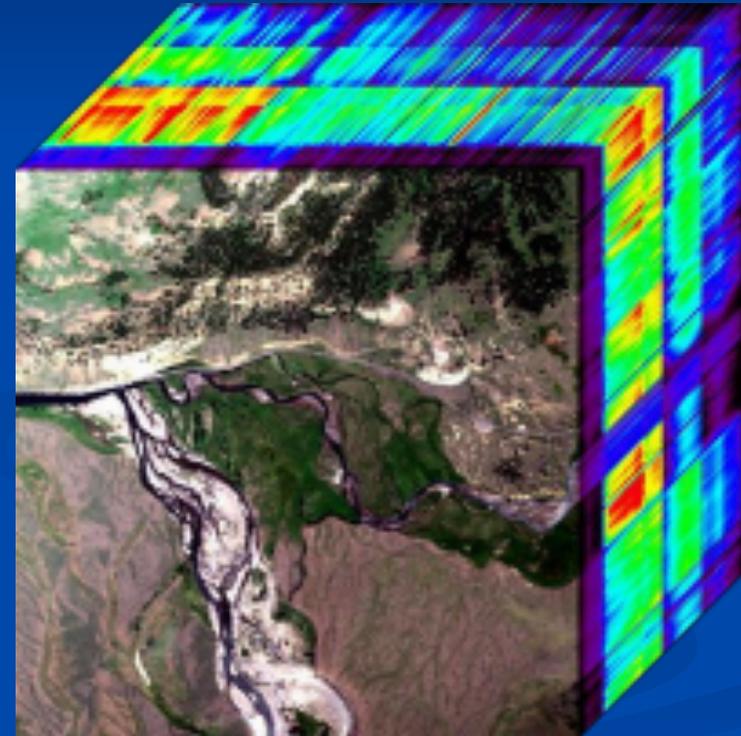
- MAJIS
- SWI

speriamo essere in grado di capire le anomalie degli isotopi del zolfo nella atmosfera di Europa.

# MAJIS

(Moons and Jupiter Imaging Spectrometer)

- Le immagini iperspettrali vengono acquisite e rappresentate sotto forma di cubi di dati.
- Nel cubo iperspettrale le informazioni spaziali sono indicate sul piano X-Y.
- La terza dimensione (Z) contiene l'informazione spettrale dell'immagine.



# MAJIS

(Moons and Jupiter Imaging Spectrometer)

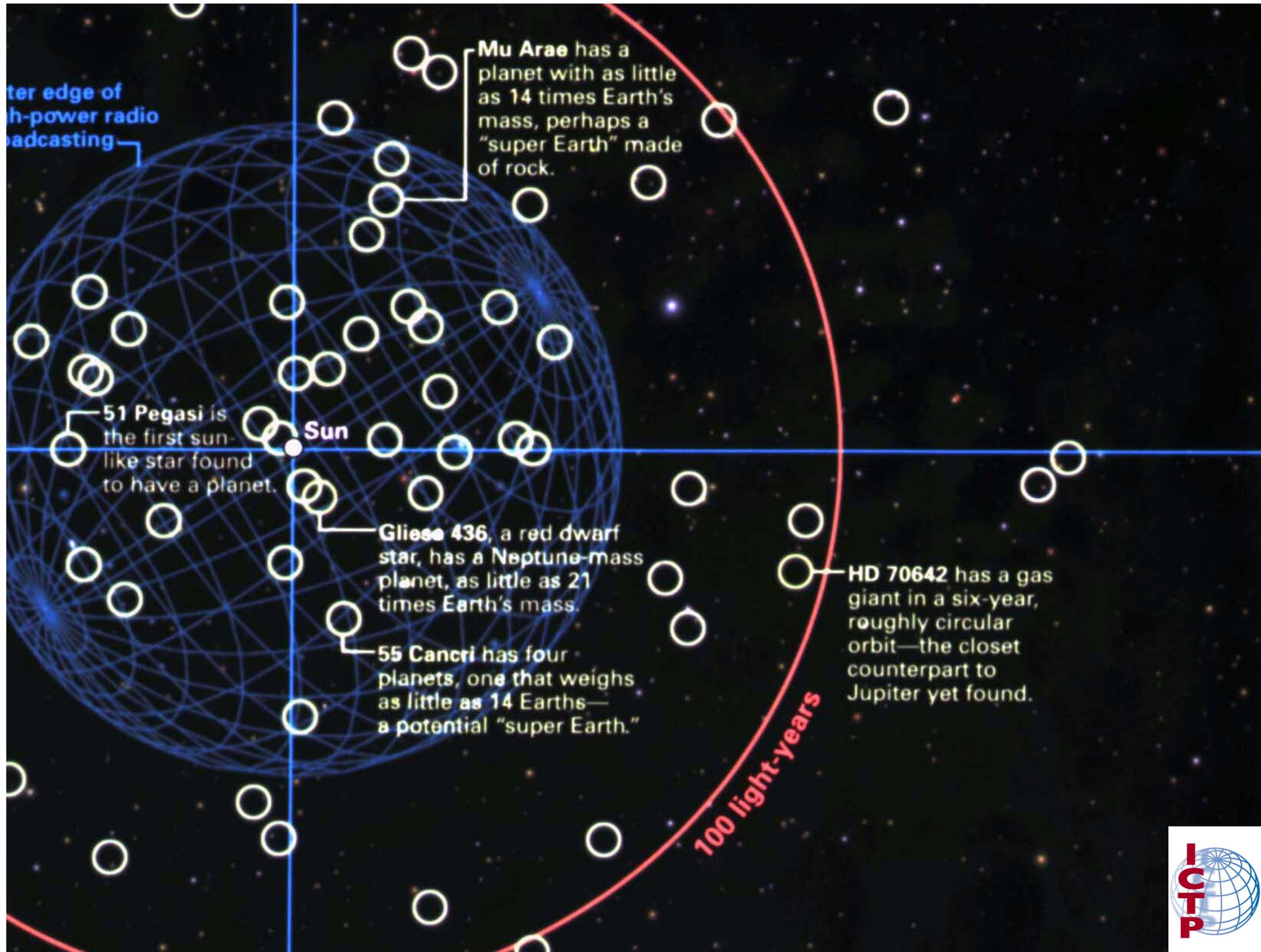
- MAJIS sarà uno spettrometro di immagini iperspettrale per lo studio sia dell'atmosfera di Giove, sia per la caratterizzazione della superficie dei satelliti.
- MAJIS sarà in grado di focalizzare sulle lunghezze d'onda nel visibile, e nell'IR con alta risoluzione spettrale.

# SWI

## (Sub-millimeter Wave Instrument)

- Uno strumento per lo studio della temperatura, composizione e dinamica dell'atmosfera di Giove. Inoltre, esse sarà utile anche per la esosfera e superficie delle lune ghiacciate.
- SWI e' uno spettrometro 'eterodino' per lo studio degli spettri con alta risoluzione.

5. I nuovi ambienti estremi in altri sistemi solare.



# Kepler:

Alla ricerca di vita nella galassia



# Milky Way Galaxy



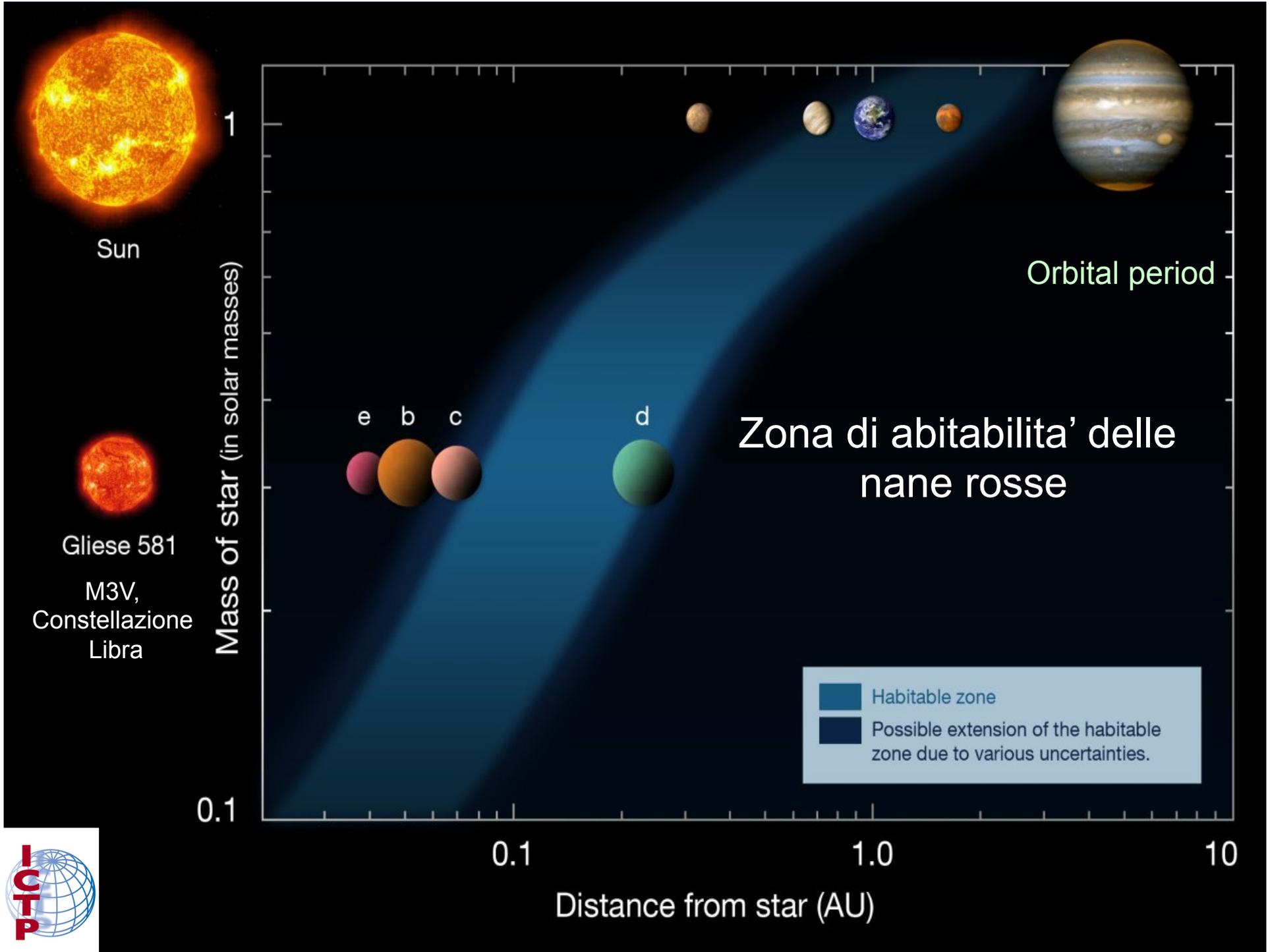
Sagittarius Arm

Perseus Arm



# La vita su altri mondi come la Terra (MCTs)





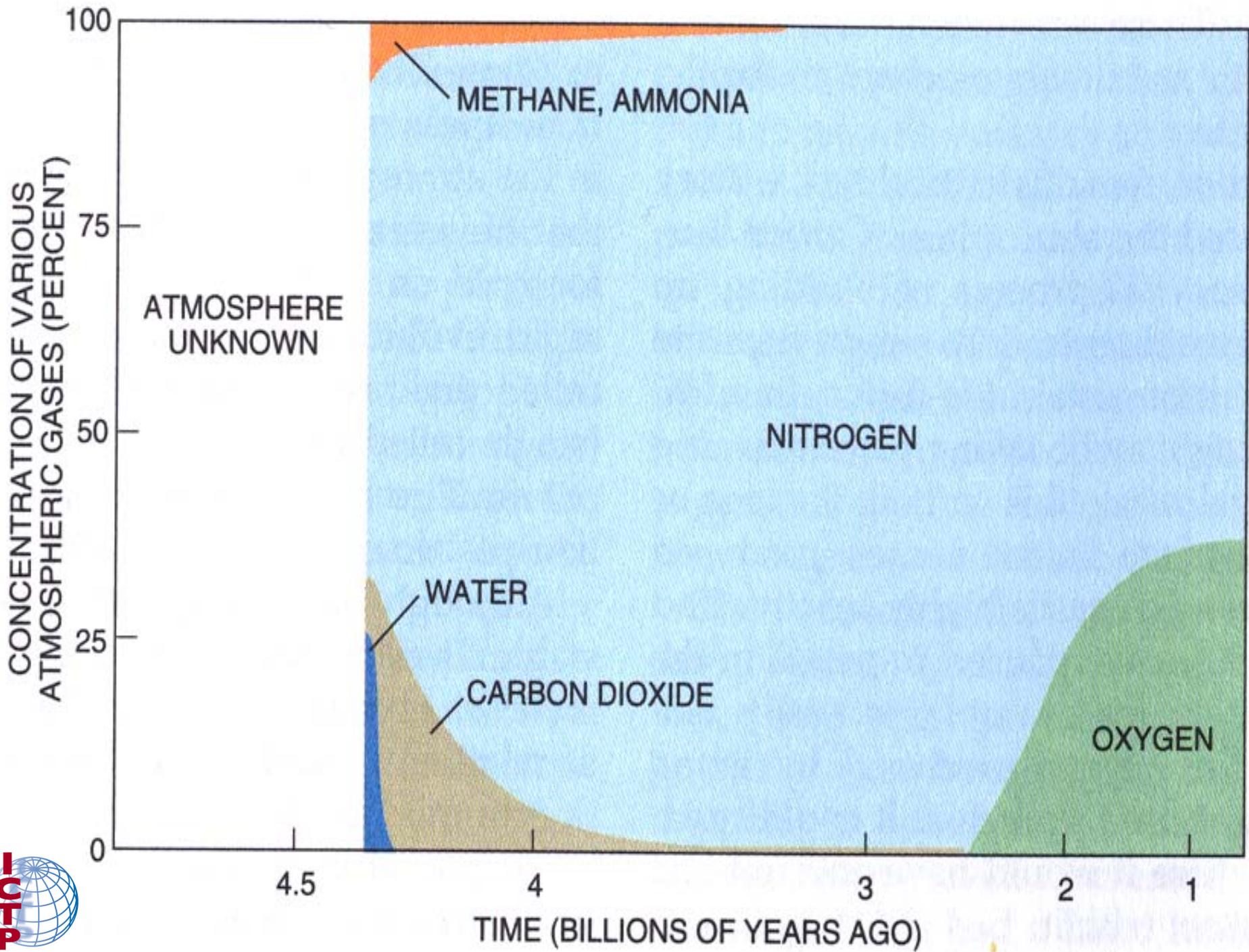
# Periodo in orbita



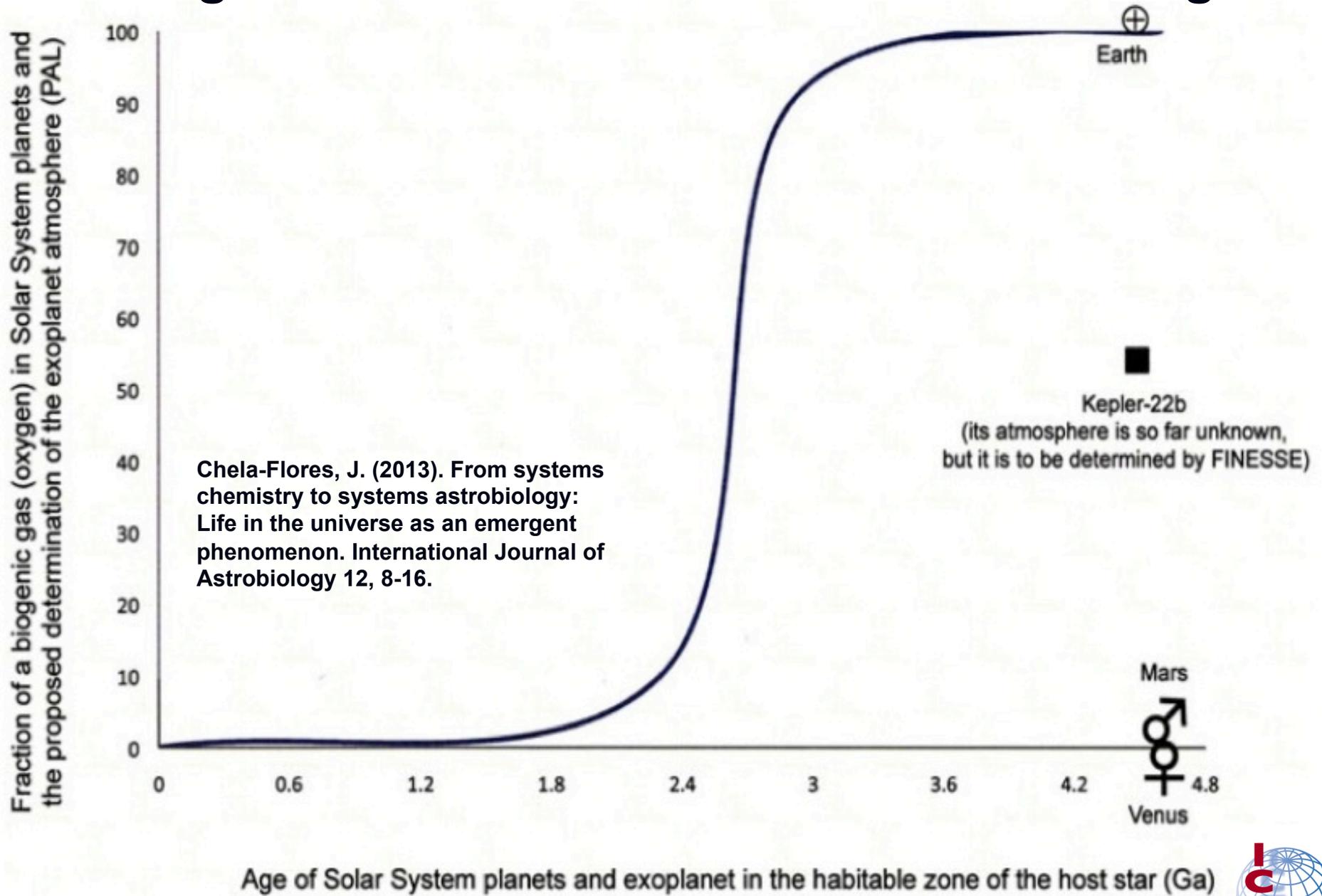
Red Dwarf



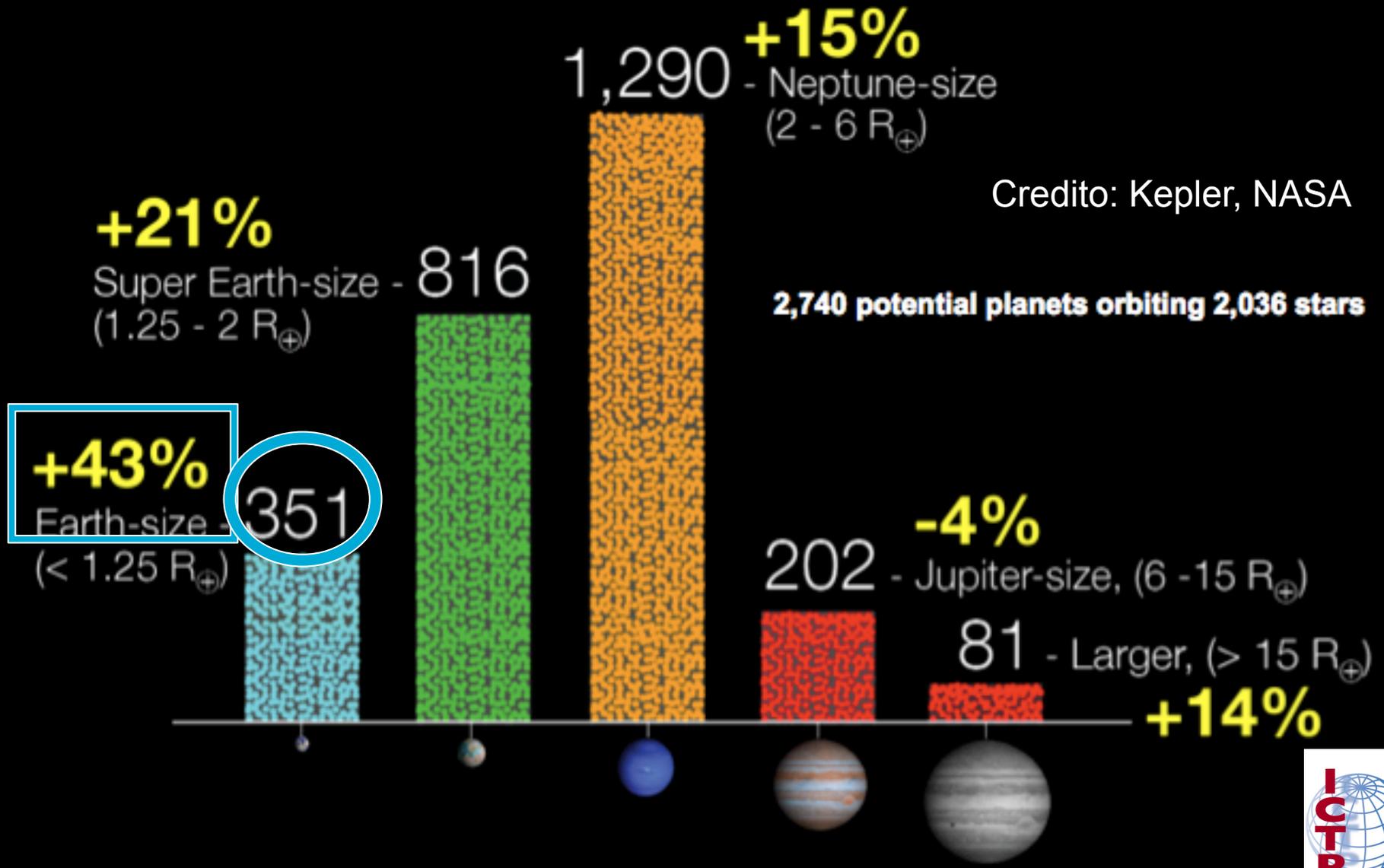
10-25 giorni con piu' transiti, aiutano alle osservazioni Kepler



# L'ossigeno abbondante e' un fenomeno biologico



# La missione Kepler con i suoi candidati (2013)



# ALLA RICERCA DI VITA IN AMBIENTI ESTREMI

➤ Il nostro percorso ci ha portato dall'Antartide alla Terra primitiva, per continuare nel Sistema Solare (la Luna ed Europa).

➤ Adesso, con la Missione Kepler, la discussione dell'estremo abitabile può comprendere anche altre stelle della Via Lattea.

