



# Astropaleontologia e ricerca di vita nel Sistema Solare

**Roberto Barbieri**

Dipartimento di Scienze della Terra  
Università di Bologna



# Astrobiologia e ricerca di vita nel Sistema Solare

**Roberto Barbieri**

Dipartimento di Scienze della Terra  
Università di Bologna



Peter Kolosimo, "Non è terrestre", Premio Bancarella 1969.  
Sulle tracce lasciate da entità provenienti dallo spazio presso  
Aztechi e Maya, nell'Egitto predinastico e in altre civiltà.

A large, reddish-brown planet with a textured surface is the central focus, set against a dark, star-filled space. A smaller, similar planet is visible in the upper right background. The text is overlaid on the left side of the planet.

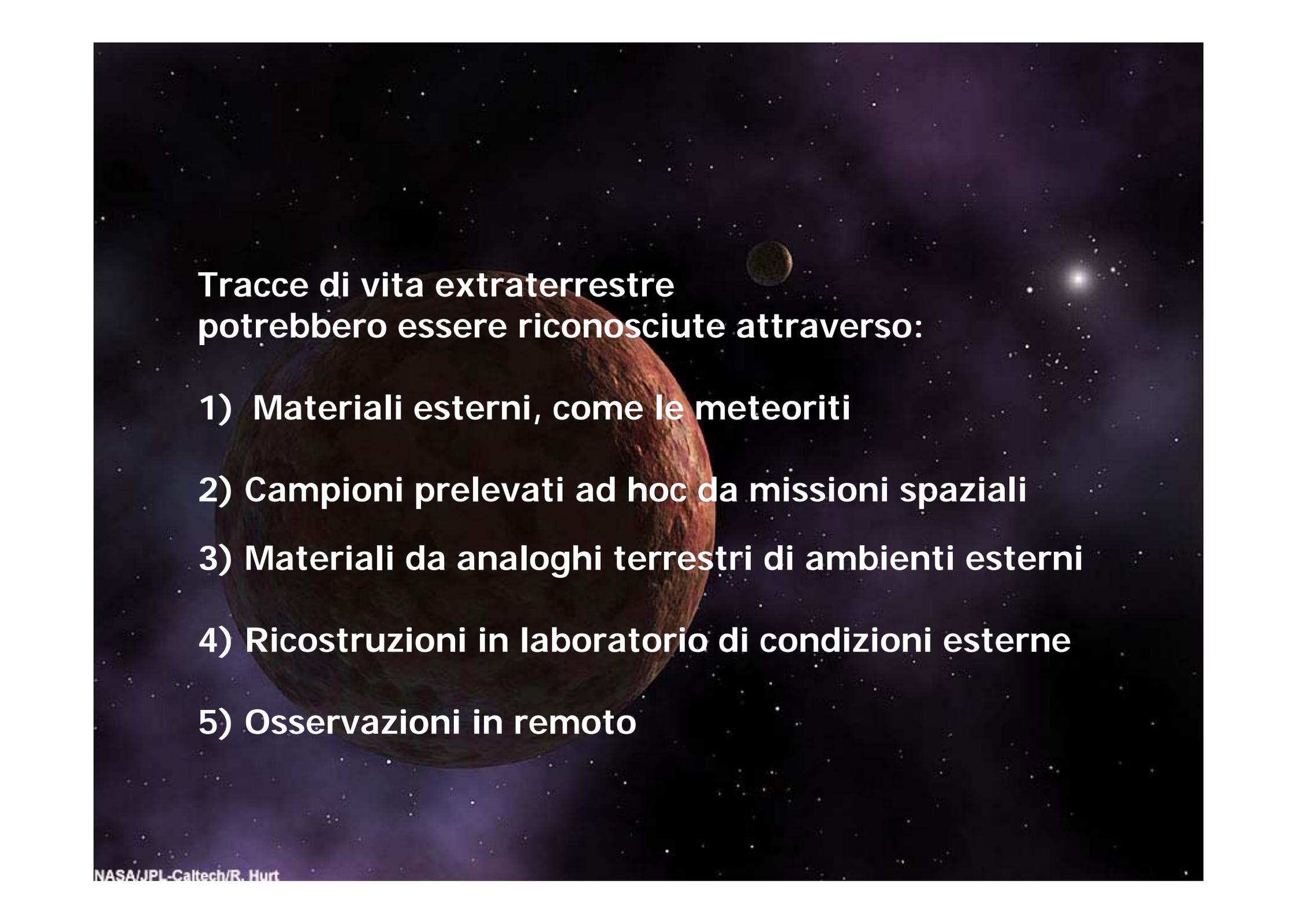
**Search for extraterrestrial life**

**Search for extraterrestrial intelligence (SETI)**

**Biomarker**, ovvero le tracce di vita (passata e presente), possono rilevarsi direttamente o a distanza.

I biomarker possono essere:

- Resti cellulari
- Tessiture bioindotte
- Materia organica da attività biologica
- Minerali bioindotti
- Geochimica isotopica che rifletta attività bio
- Costituenti dell'atmosfera di origine biologica



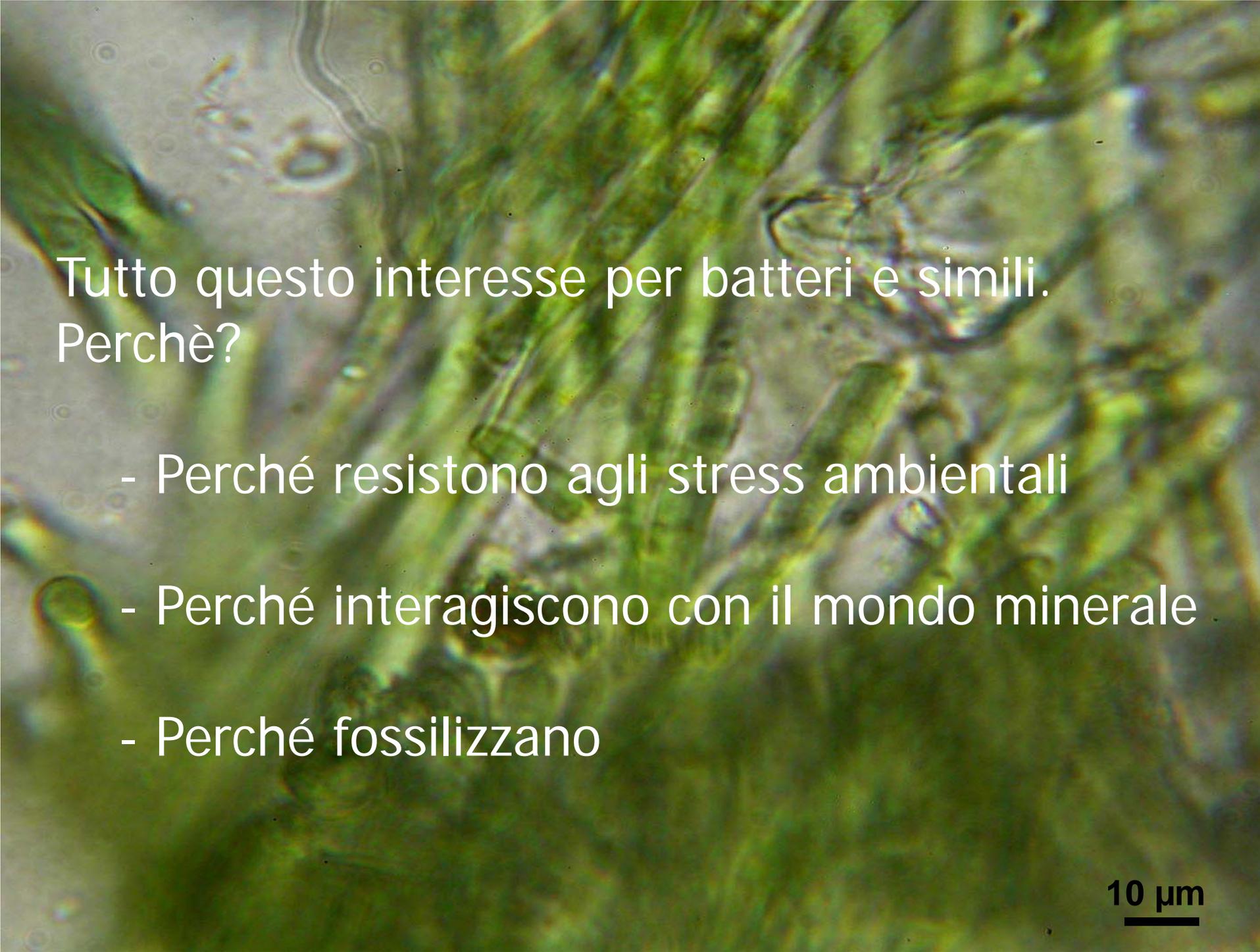
**Tracce di vita extraterrestre  
potrebbero essere riconosciute attraverso:**

- 1) Materiali esterni, come le meteoriti**
- 2) Campioni prelevati ad hoc da missioni spaziali**
- 3) Materiali da analoghi terrestri di ambienti esterni**
- 4) Ricostruzioni in laboratorio di condizioni esterne**
- 5) Osservazioni in remoto**

# I limiti di tollerabilità della vita sulla Terra

**Table 2.2** The physical limits for life on Earth, with examples of some of the organisms associated with particular environments.

Environment	Limiting conditions	Type	Example
temperature	<15°C	psychrophiles	
	15–50°C	mesophiles	<i>Homo sapiens</i>
	50–80°C	thermophiles	<i>Thermoplasma</i> can reproduce at >45 °C
	80–115°C	hyperthermophiles	<i>Pyrolobus fumarii</i> (113 °C)
radiation			<i>Deinococcus radiodurans</i>
salinity	15–37.5% NaCl	halophiles	
pH	0.7–4	acidophiles	
	8–12.5	alkalophiles	
desiccation	anhydrobiotic	xerophiles	nematodes, microbes, fungi, lichens
pressure	pressure-loving – up to 130 MPa	piezophiles	
	weight-loving	barophiles	
vacuum	tolerates vacuum		microbes, insects, seeds
oxygen	cannot tolerate O <sub>2</sub>	anaerobes	
	tolerates some O <sub>2</sub>	microaerophiles	
	requires O <sub>2</sub>	aerobes	<i>Homo sapiens</i>
chemical extremes	gases		<i>C. caldarium</i> (pure CO <sub>2</sub> )
	can tolerate high concentrations of metals		



Tutto questo interesse per batteri e simili.  
Perché?

- Perché resistono agli stress ambientali
- Perché interagiscono con il mondo minerale
- Perché fossilizzano

10 µm



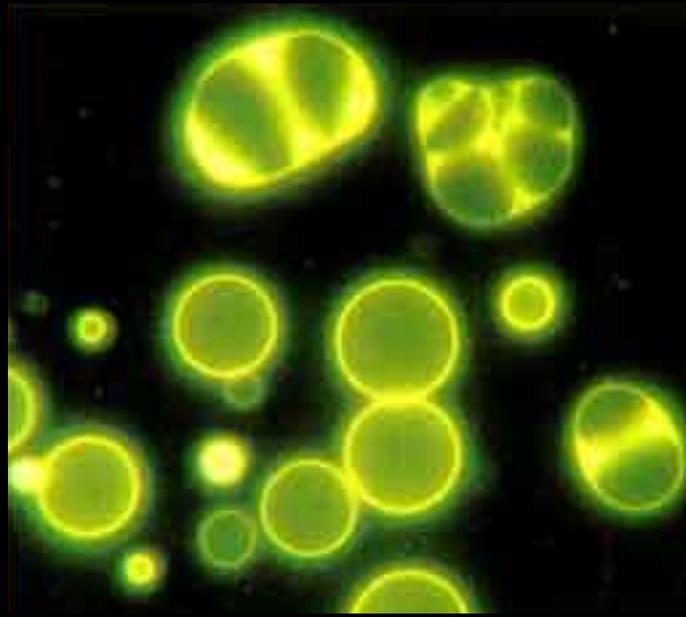
L'interesse è per gli **estremofili**,  
i microrganismi adattati a condizioni  
di vita estreme sulla Terra.  
I marziani, venusiani, ecc.,  
**sono forse loro?**



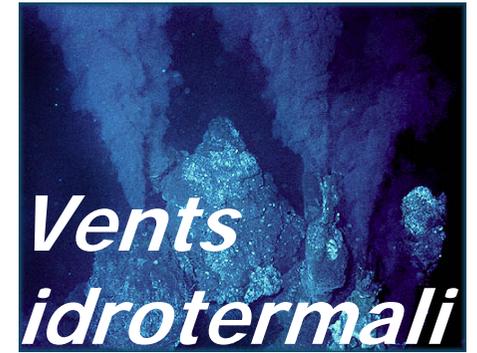
Gli estremofili non solo tollerano,  
ma possono "amare" gli  
**ambienti estremi**

## Quali sono gli ambienti estremi?

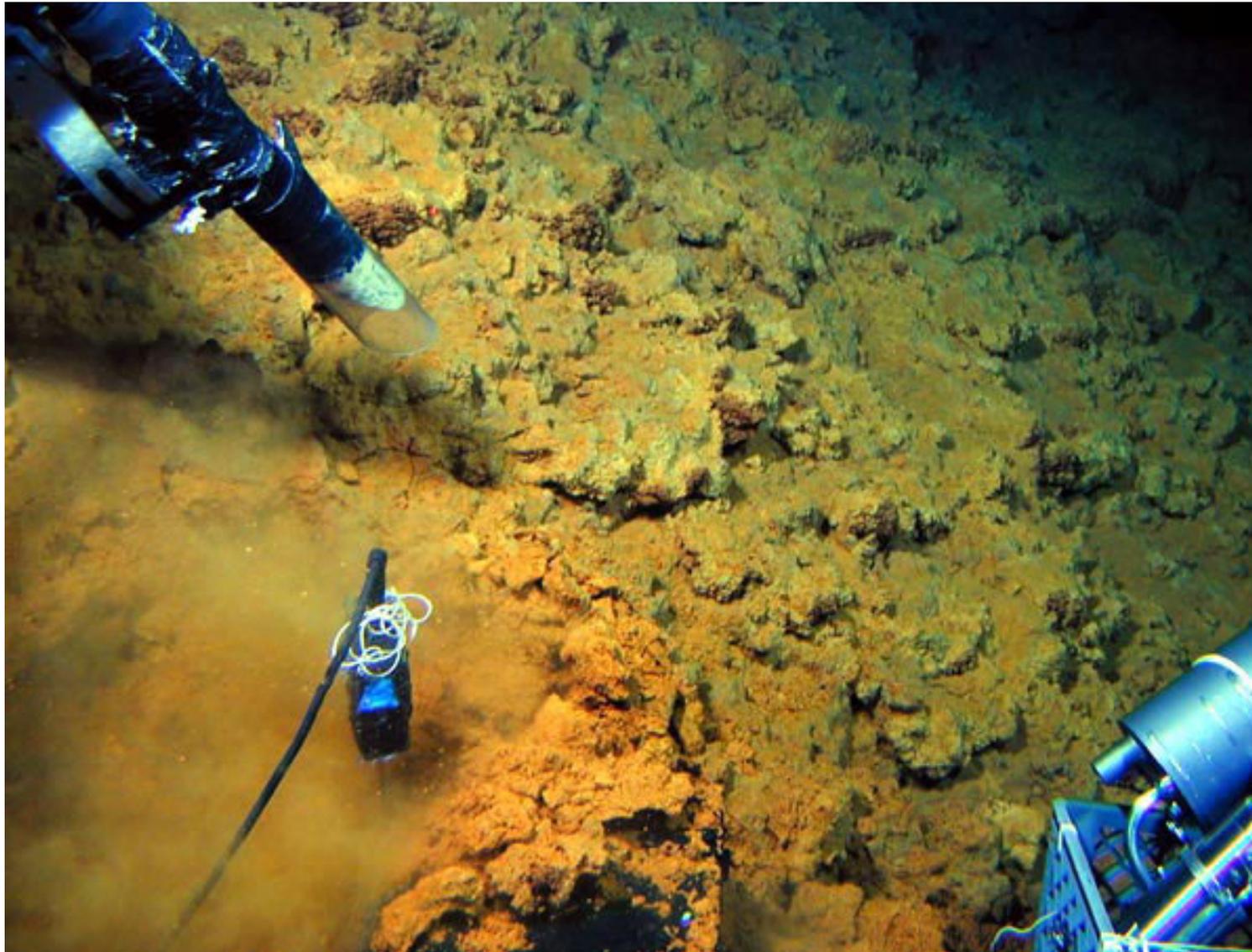
- Vents idrotermali nei mari, sorgenti calde e geysers in superficie.
- Seep freddi nei mari
- Profondità marine abissali e adali
- Deserti caldi e deserti freddi
- Ambienti sottosuperficiali
- Ghiaccio, neve, permafrost
- Ambienti sovrasalati ed evaporitici
- Atmosfera
- .....



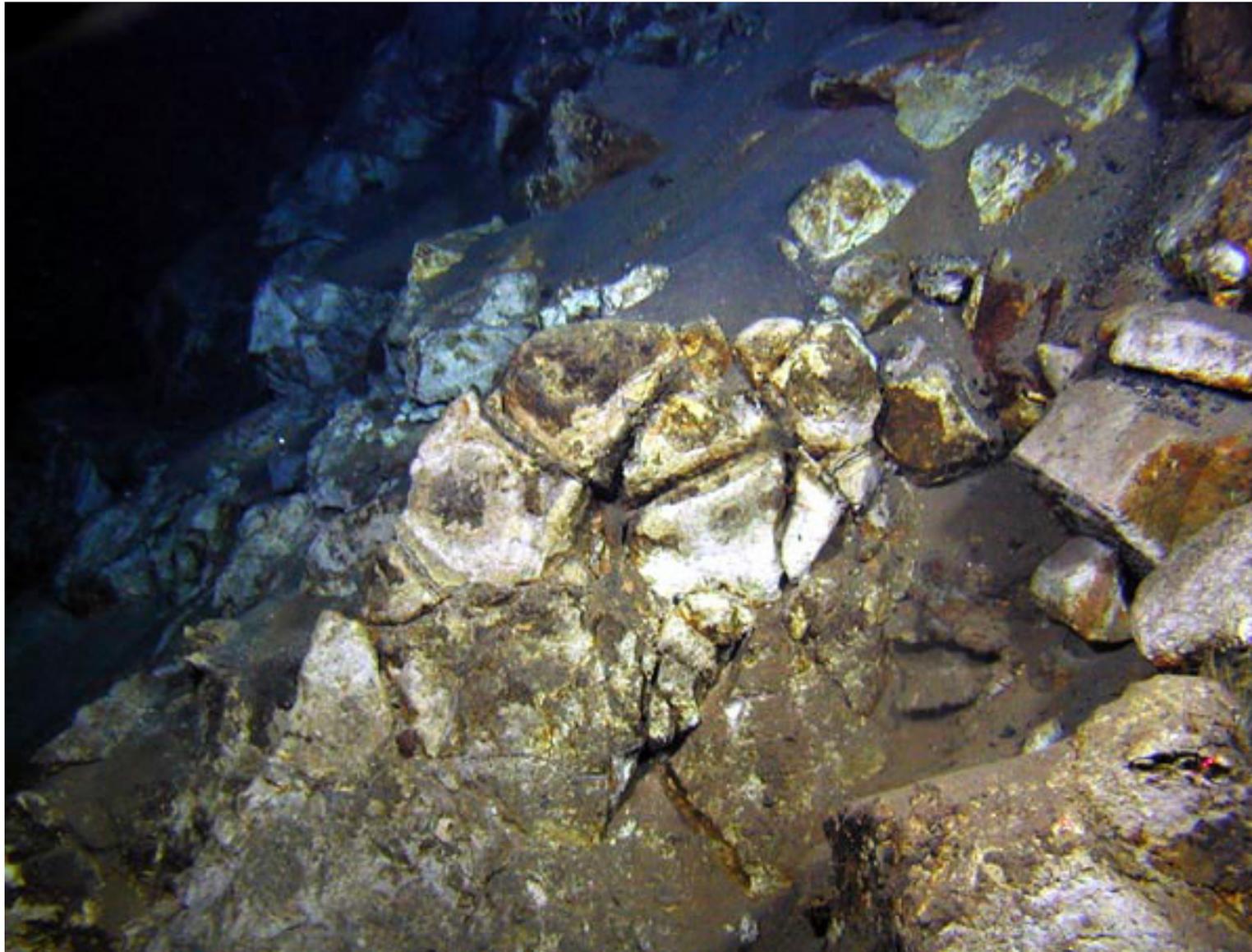
**Si scoprono di continuo nuovi ambienti estremi, spostando sempre più il limite di quel che si intende con "estremo"**



**Vermi tubo (Pogonophora) intorno a un vulcano sottomarino con intense emissioni idrotermali (Nuova Zelanda)**



**Campionamento dei tappeti microbici (in arancione) e misure di temperatura intorno a un vulcano sottomarino (Nuova Zelanda)**



**Lave sottomarine alterate (parti bianche) da idrotermalismo, nuovi precipitati si formano con l'intervento di consorzi microbici**

## *Seep freddi*



**Tappeti microbici,  
vermi tubo e bivalvi  
sono alimentati da  
idrogeno solforato  
e metano nella  
Baia di Monterey**



Croste e coni  
di carbonato di Ca  
indotte dai batteri  
in fondo al mare



```
Copyright 1997 Monterey Bay Aquarium Research Institute  
File = Ventana/1997/349/04:28:28:26.rgb (MAIN)  
EPOCHsecs = 882224938  
LocalTime = Mon Dec 15 14:28:58 PST 1997  
UTCtime = Mon Dec 15 22:28:58 1997  
YYYYJJJ = 1997349  
AnnTC = 04:28:21:12  
SnapTC = 04:28:28:26  
Annotation= [descend]
```





*Baia di Monterey, oggi*

**Conseguenza della precipitazione del Ca-carbonato:**

**I grandi bivalvi a metano fossilizzano**



*Sicilia, circa 20 milioni di anni fa*



Hot  
Springs

Parco di Yellowstone: geyser del Main Basin

A photograph of the Mammoth Hot Springs in Yellowstone National Park. The image shows a large, terraced limestone formation with a yellowish-orange hue, likely due to mineral deposits. Several dead, blackened trees are scattered throughout the scene, some in the foreground and some in the background. The ground is a mix of dirt and sand. The text "Hot Springs" is overlaid in the top right corner.

Hot  
Springs

Parco di Yellowstone: Mammoth Hot Spring



**Ambiente sovrasalato: sabkha continentale (Tunisia),  
croste di sale (alite) a perdita d'occhio**



**Deserto freddo, Antartide**



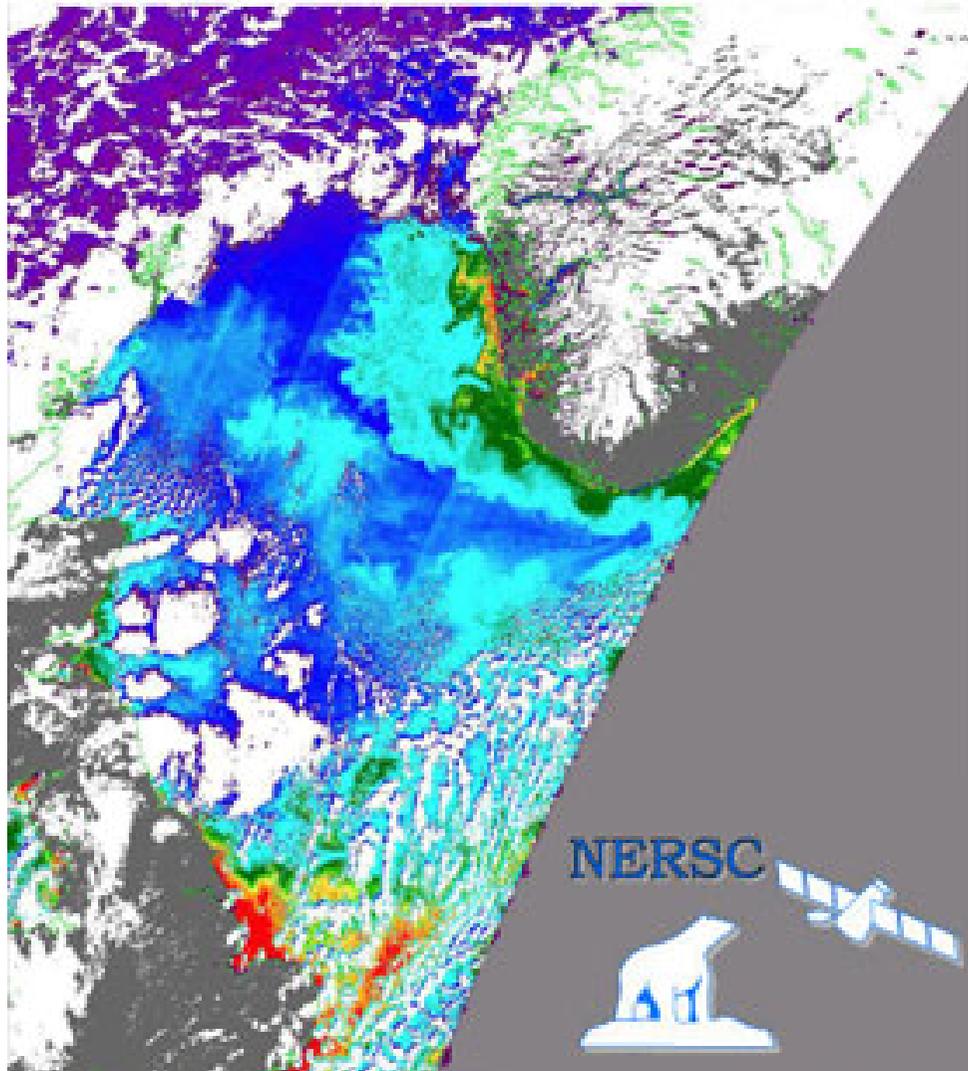
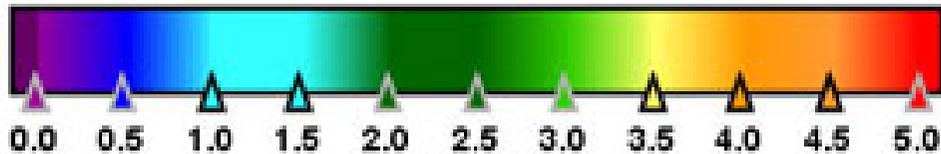
**Valle de la Muerte (Atacama)**

## **Ghiaccio, neve**



**Iceberg in formazione  
in Antartide visti dal  
satellite**

algal\_1 [mg/m<sup>3</sup>]



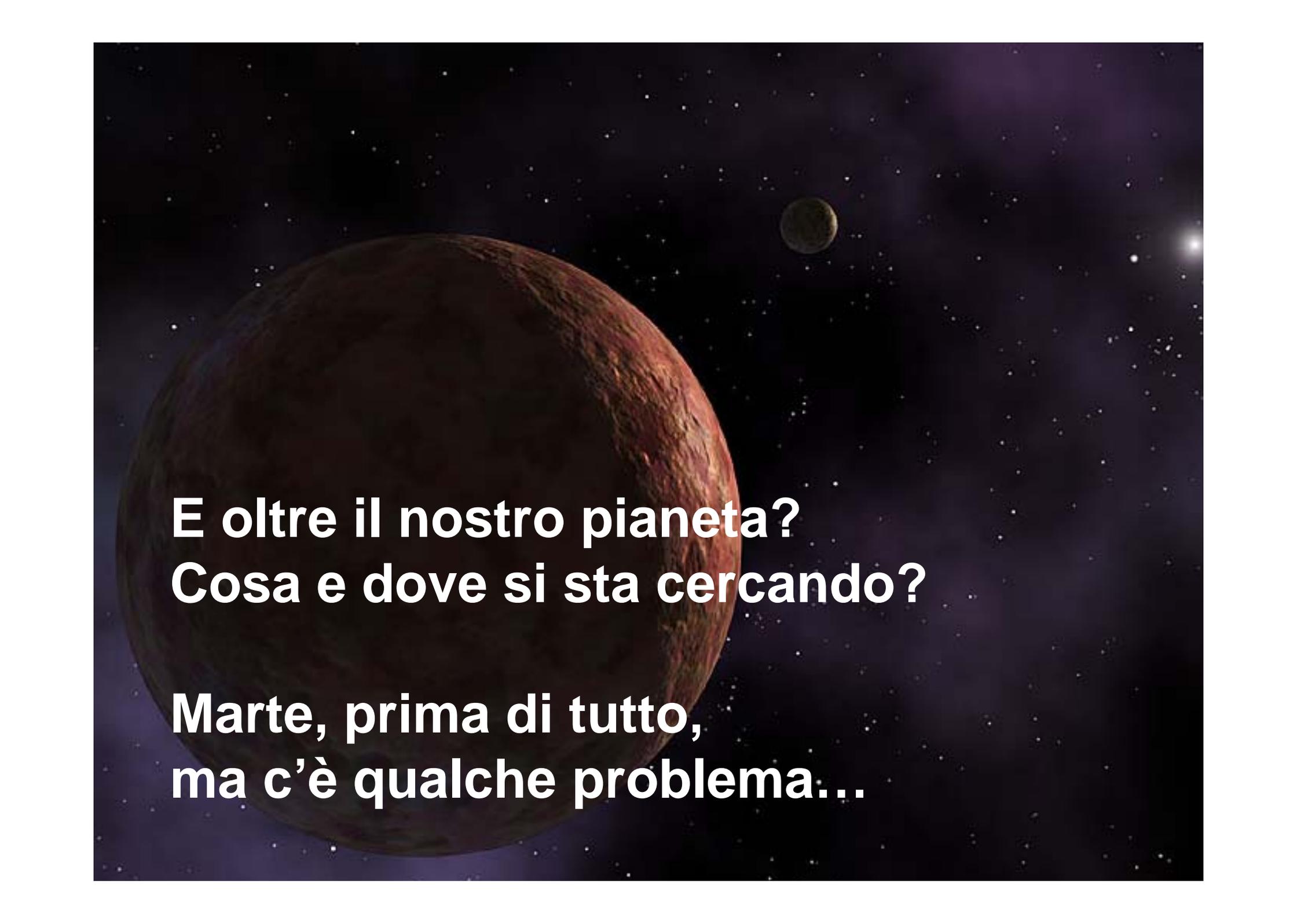
NERSC



Copyright 20©05 ESA/ Nansen Center

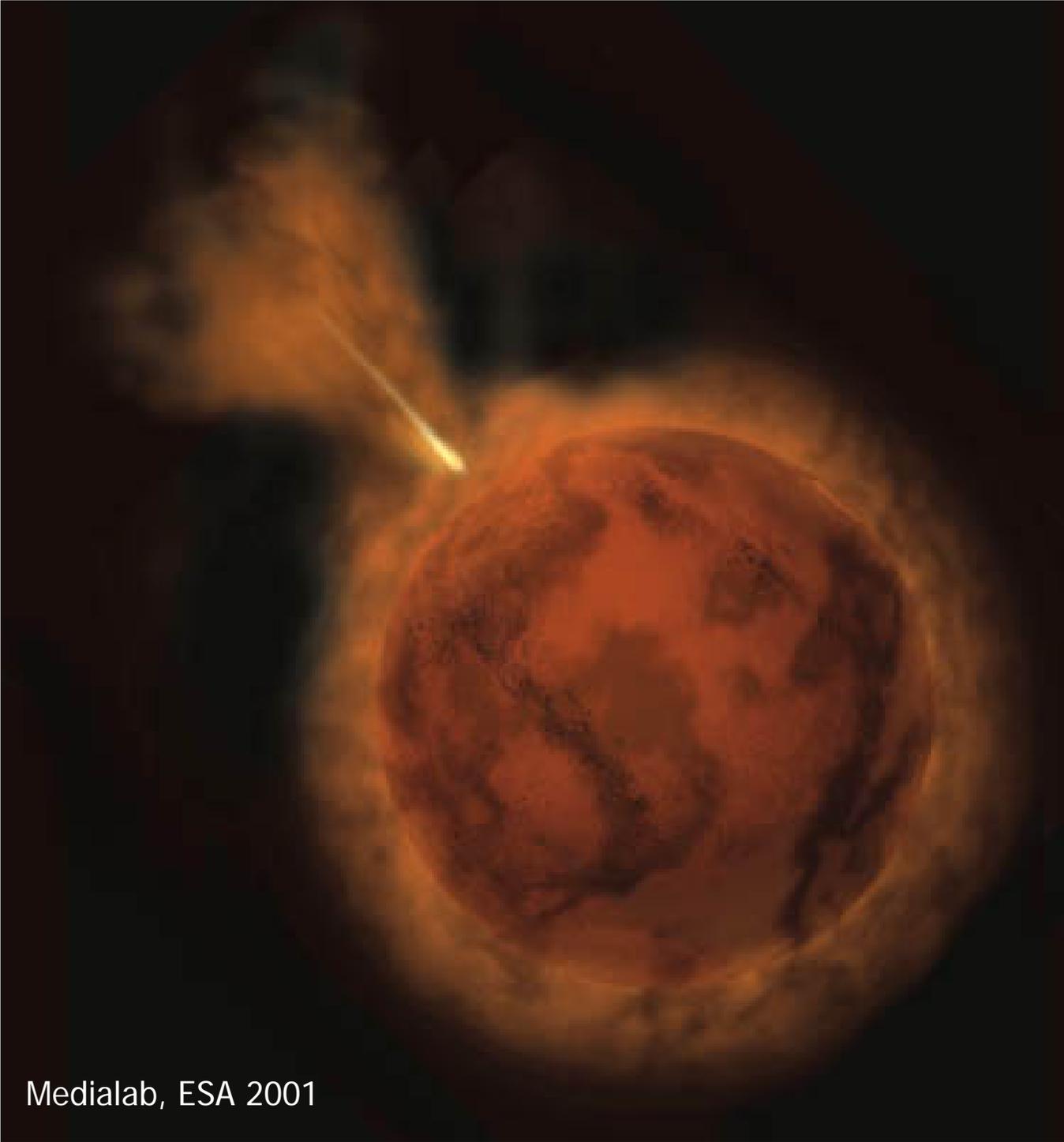
**Vita microbica e bloom algali si sviluppano anche in ambienti nevosi e ghiacciati**

**Qui è un bloom algale nel Mare del Nord**



**E oltre il nostro pianeta?  
Cosa e dove si sta cercando?**

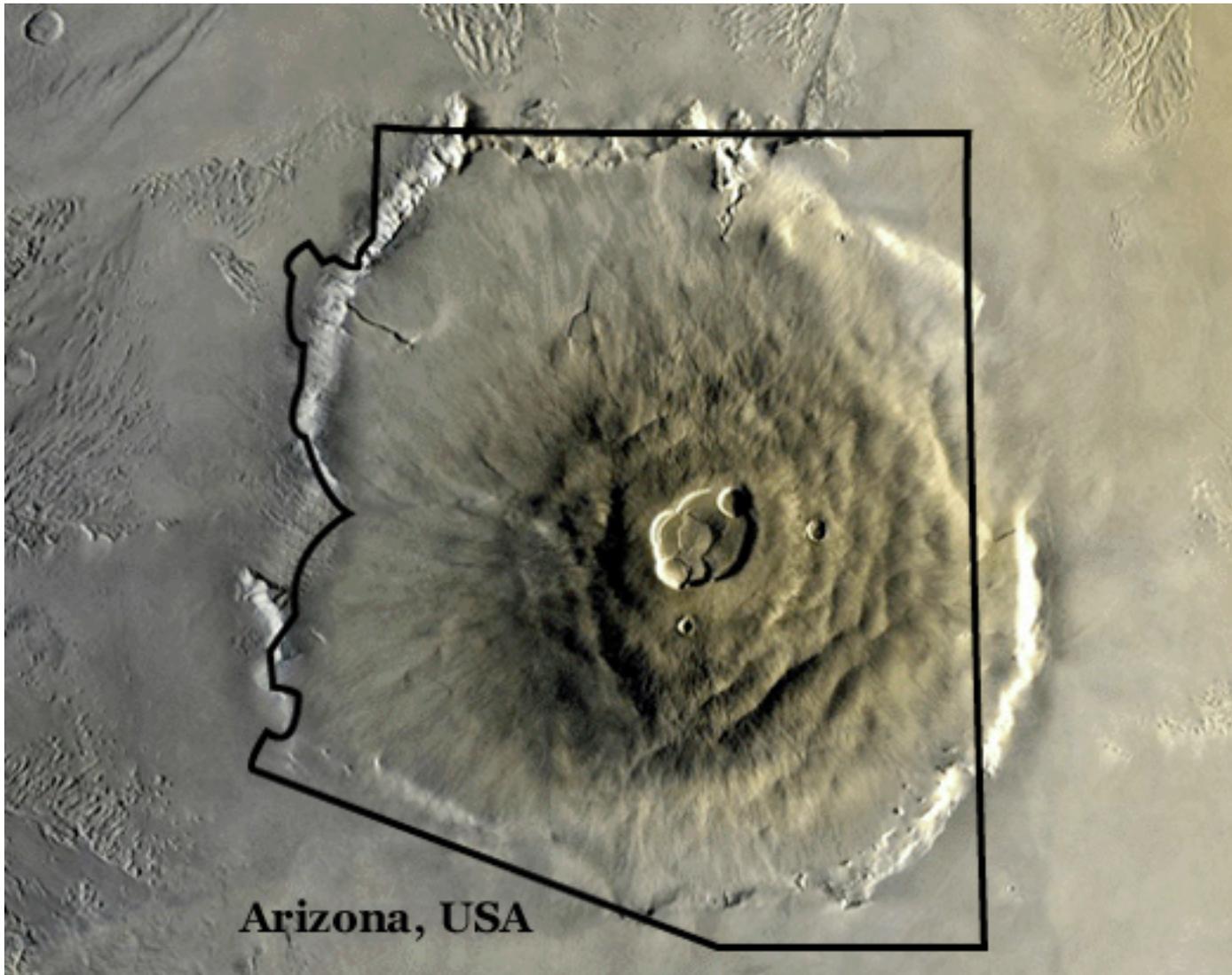
**Marte, prima di tutto,  
ma c'è qualche problema...**



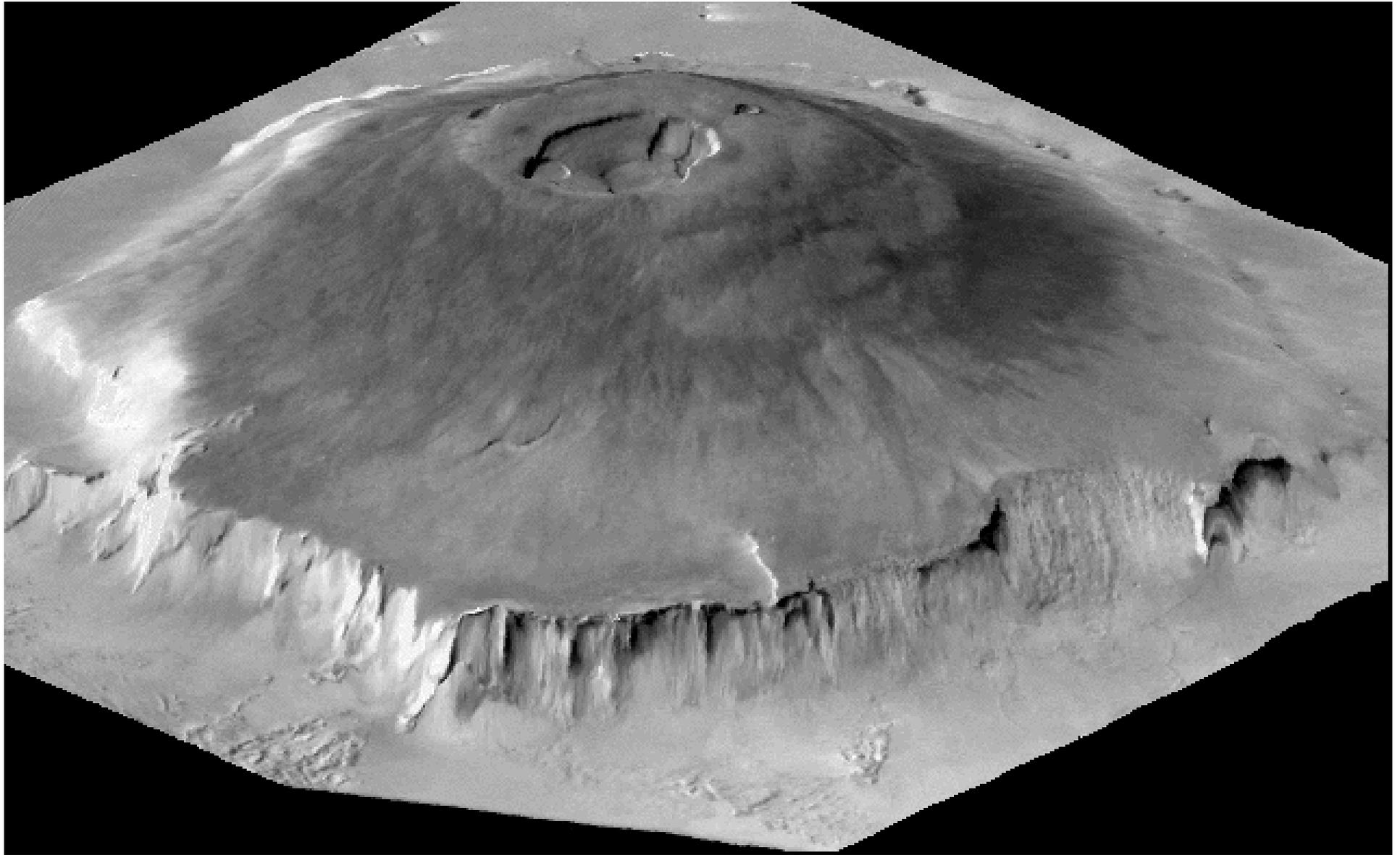
**Marte potrebbe aver perso gran parte della sua atmosfera per gli impatti di asteroidi già in epoca primordiale**

E l'acqua su Marte?

Ormai sappiamo che l'acqua liquida c'è stata, forse in più momenti del passato geologico marziano, attraverso un'intensa attività vulcanica che potrebbe aver sciolto il ghiaccio...

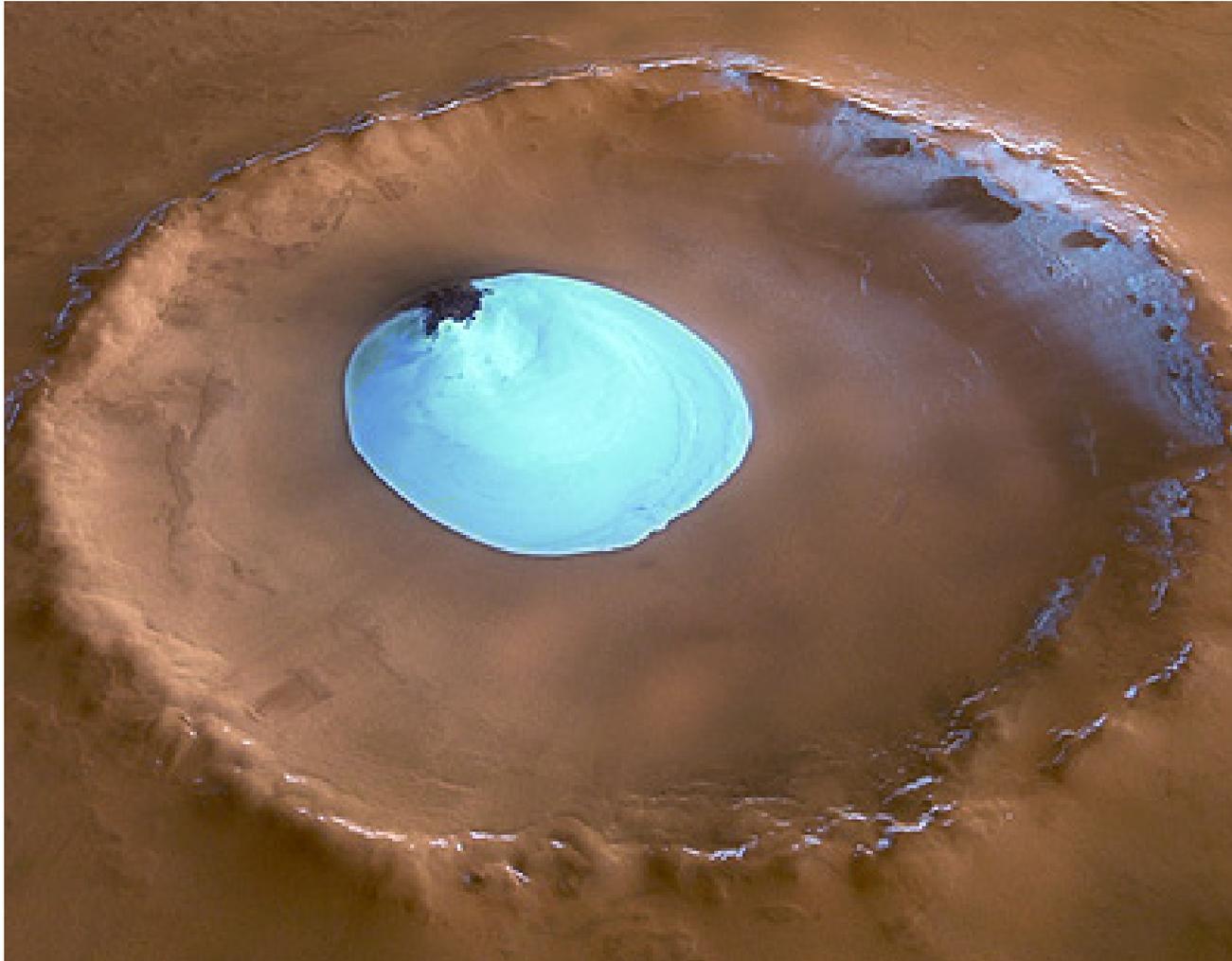


Regione di Tharsis, l'Olympus Mons, massimo vulcano del Sistema Solare  
(altezza 25 km e caldera di 80 km)



**Olympus Mons**  
(La scarpata al margine è alta 6 km)

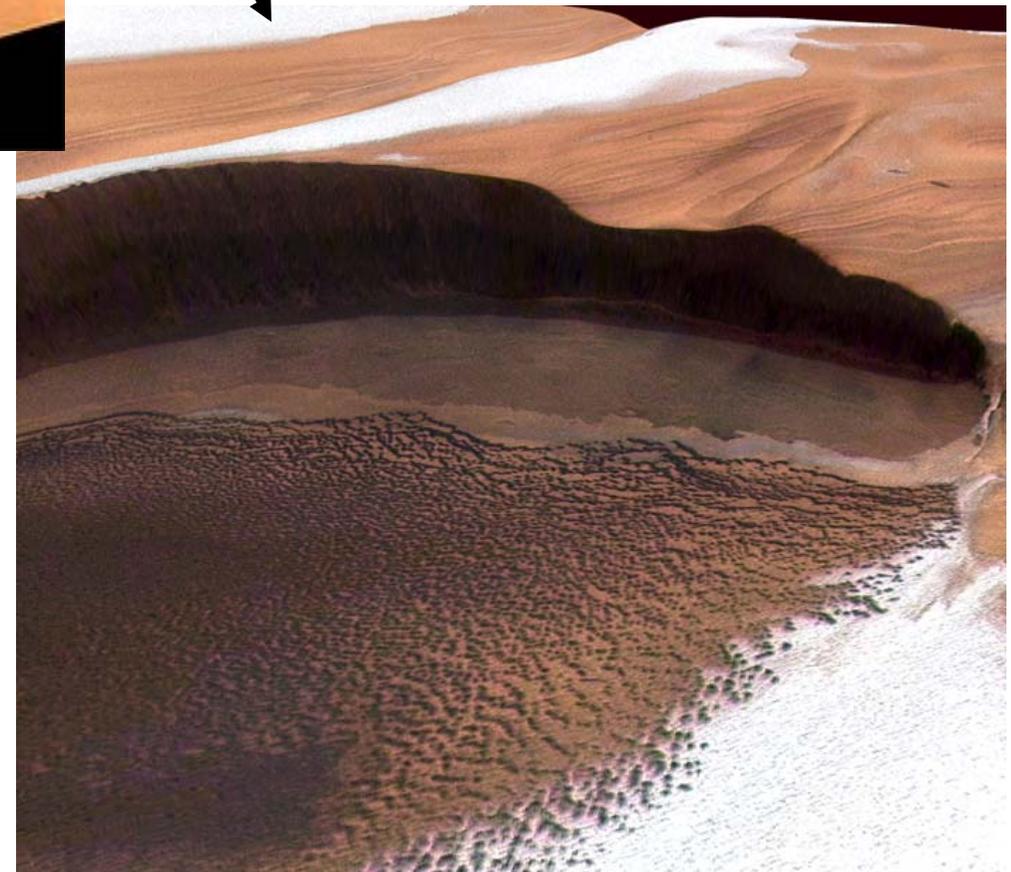
## Ghiaccio d'acqua in un cratere al polo nord marziano



Cratere da impatto fotografato il 2 Febbraio 2005 da Mars Express.  
I colori sono quasi quelli naturali, scala verticale esagerata tre volte.  
Diametro cratere 35 km, profondità 2 km da bordo cratere

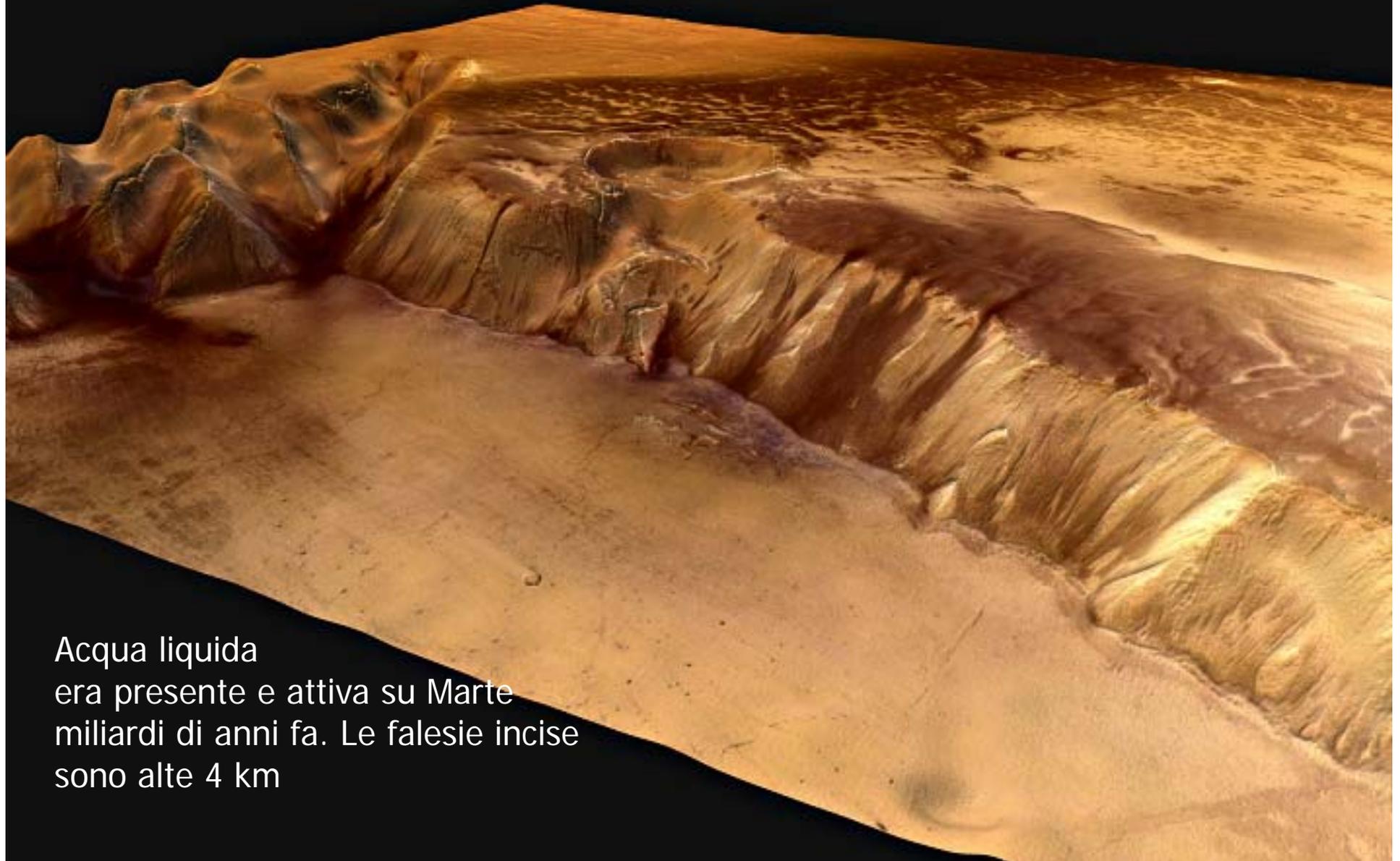


Ghiaccio d'acqua e ceneri vulcaniche al polo nord marziano



Strati di ghiaccio d'acqua e polvere.  
Sotto alla falesia (alta 2 km) il materiale scuro che forma dune è forse cenere vulcanica.

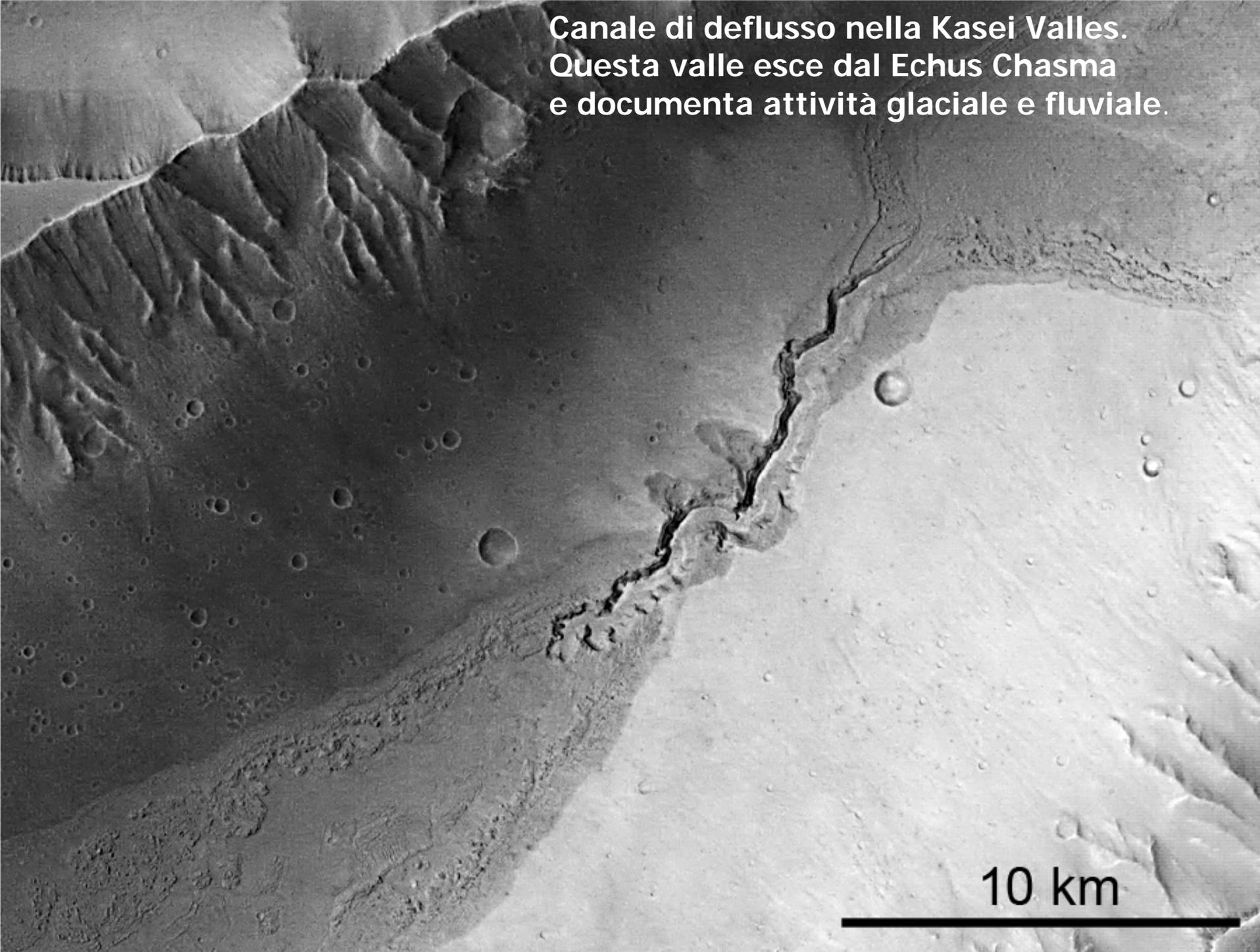
Regione di Echus Chasma visto dal Mars Express e pubblicato nel 2005



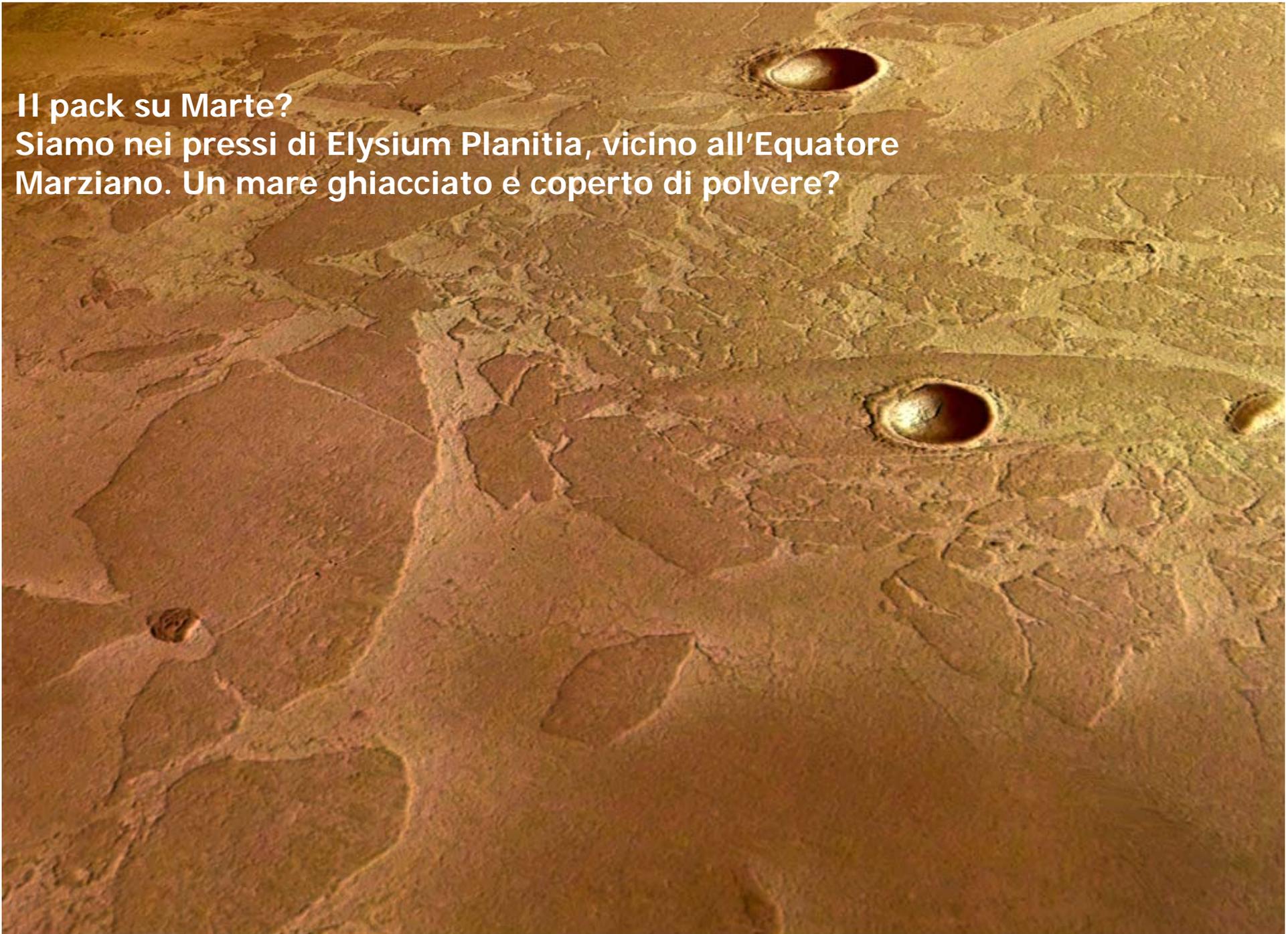
Acqua liquida  
era presente e attiva su Marte  
miliardi di anni fa. Le falesie incise  
sono alte 4 km

Canale di deflusso nella Kasei Valles.  
Questa valle esce dal Echus Chasma  
e documenta attività glaciale e fluviale.

10 km



**Il pack su Marte?  
Siamo nei pressi di Elysium Planitia, vicino all'Equatore  
Marziano. Un mare ghiacciato e coperto di polvere?**



**Acqua su Marte?**

**Minerali che si formano da soluzioni a base acquosa,  
come le evaporiti, gli ossidi di ferro...**

**Riconosciuti da:**

**Fluorescenza ai raggi X di un lander del Viking (1976):  
solfati di magnesio**

**Spettrometri del Mars Odissey (2004):  
solfati  
ematite**

**Spettrometro del Mars Express (2004):  
solfati di calcio (gesso)**

Foto ai bordi di un cratere da impatto di Meridiani Planum, presa dal rover Opportunity nel 2004. Lo spettrometro ai raggi X ha indicato la presenza di solfati di potassio e noduli di ematite

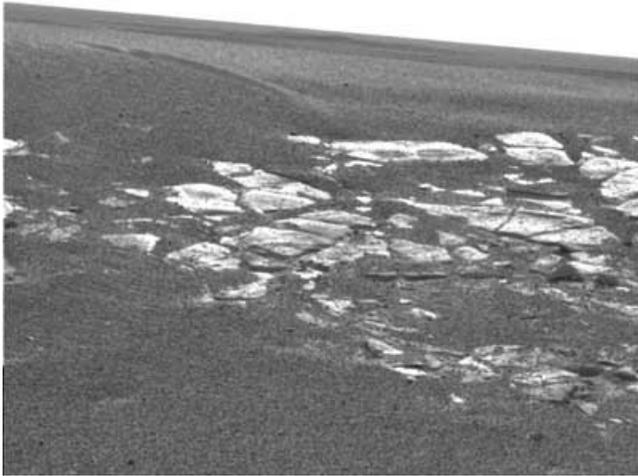


Foto ravvicinata del sito di sopra, notare la stratificazione

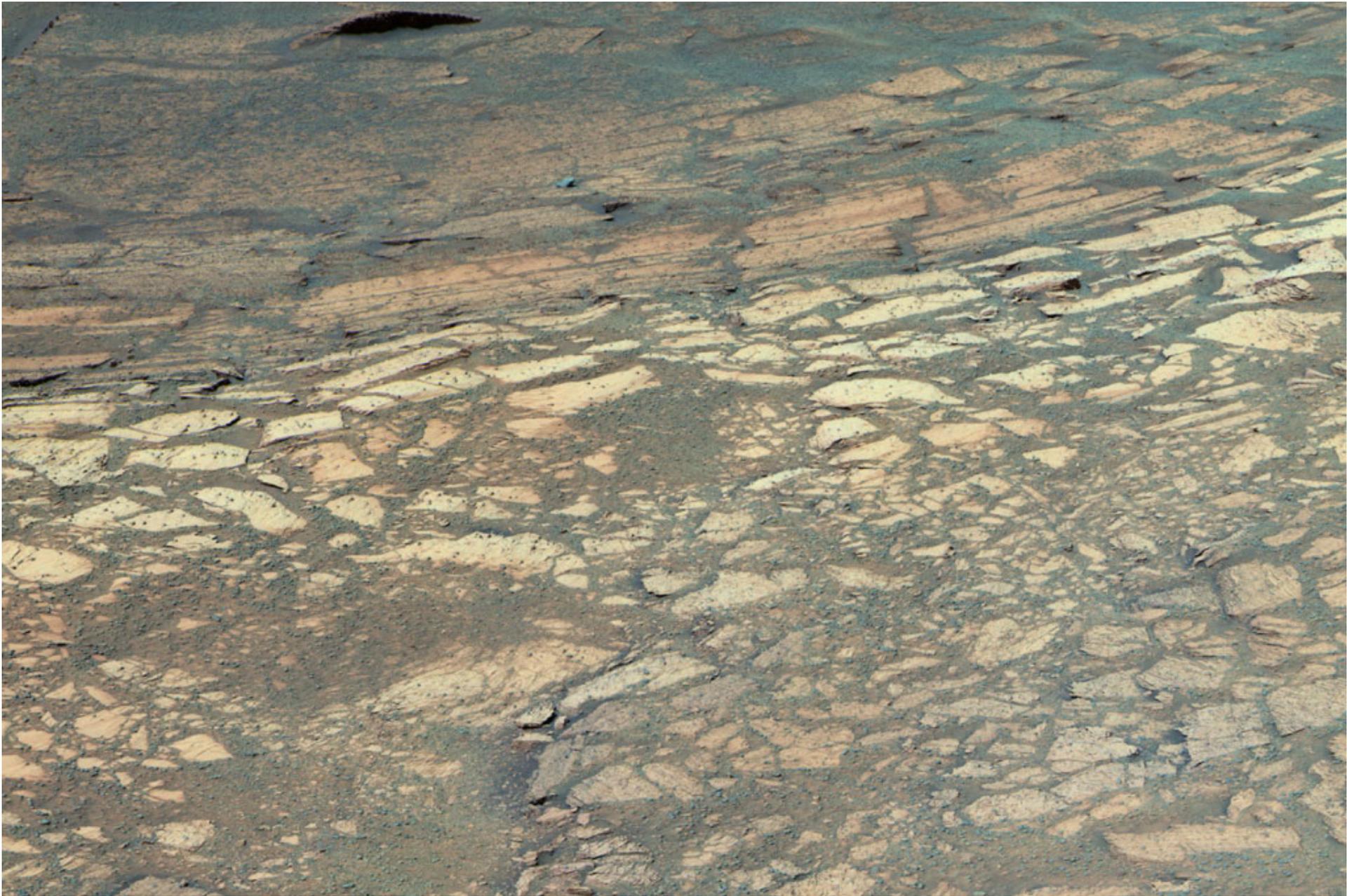
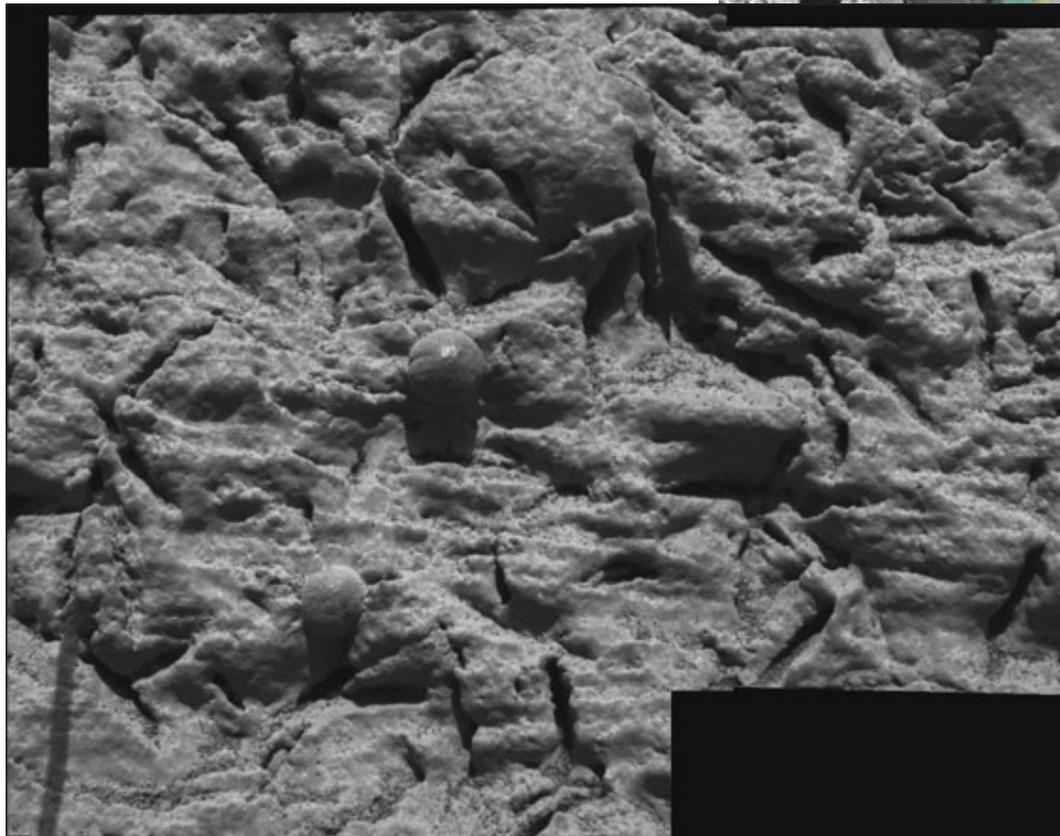
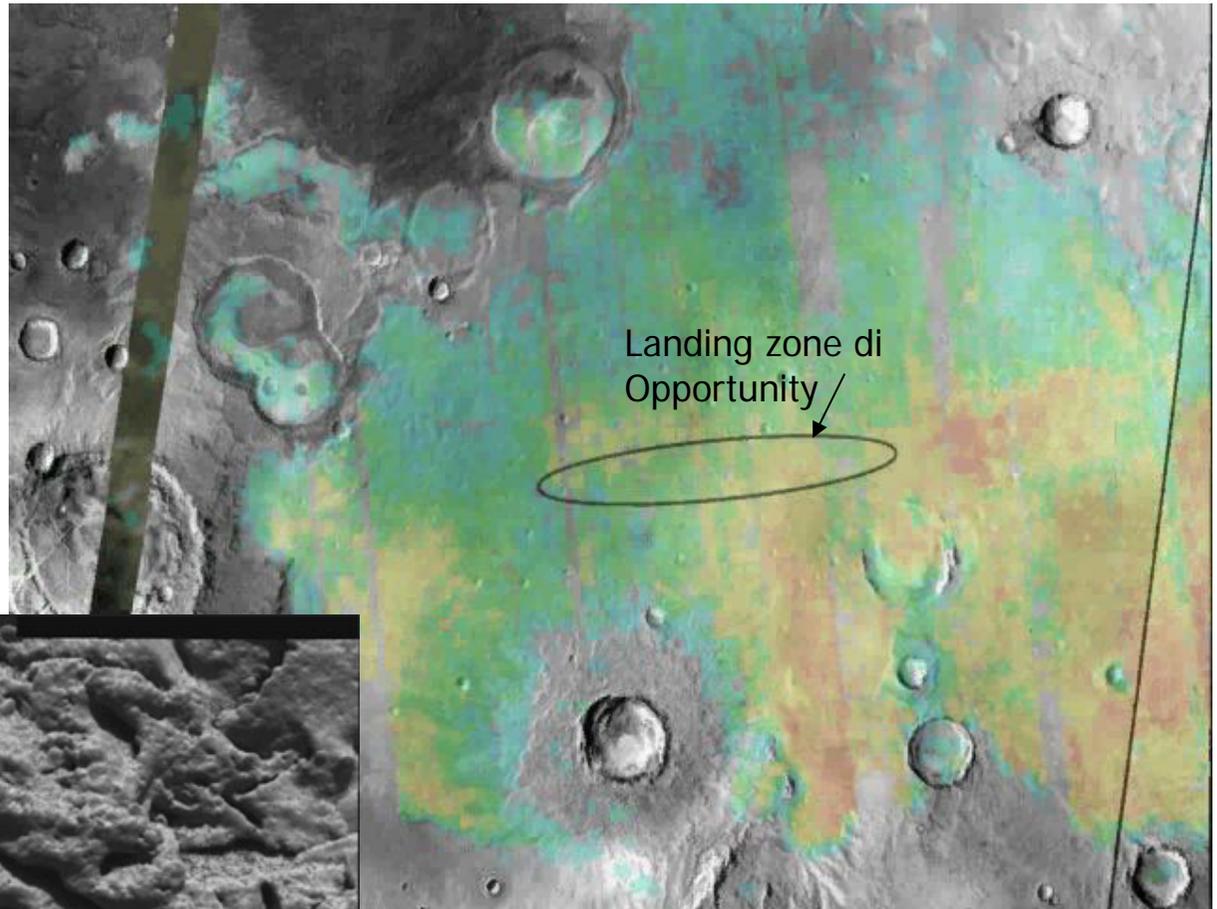


Foto (falsi colori) dell'8 giugno 2004 presa dal rover Opportunity nell'Endurance Crater

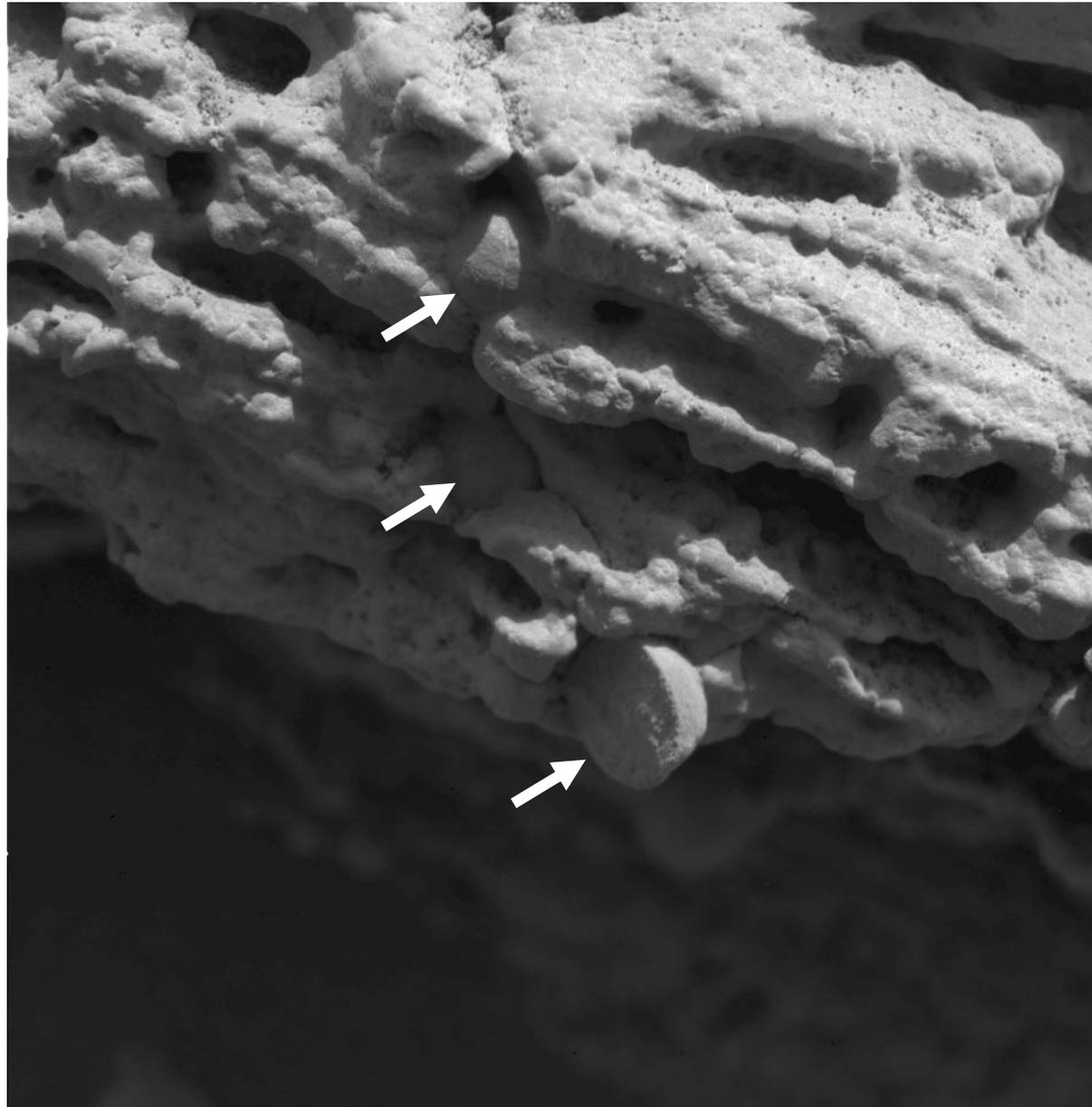


**Chott el Gharsa, Tunisia**

Mapa da spettrometro agli infrarossi del Meridiani Planum presa dal Mars Odissey (2004).  
In rosso le aree ricche in ematite



Sferule di ematite (un ossido di ferro) immerse in una roccia ricca di solfato. Foto presa nel 2004 dal rover Opportunity nell'area indicata sopra dall'ellisse.



Dettaglio dei noduli di ematite (circa 1 cm di diametro) da roccia sedimentaria stratificata dal Meridiani Planum (presa nel febbraio 2004 dal rover Opportunity)

Metano su Marte?

Lo spettrometro del Mars Express ne ha confermato la presenza in piccole e localizzate quantità nella primavera dello scorso anno





**Vulcani di fango prodotti da esalazioni di gas (anche metano) e acqua. Salse di Nirano, Modena.**



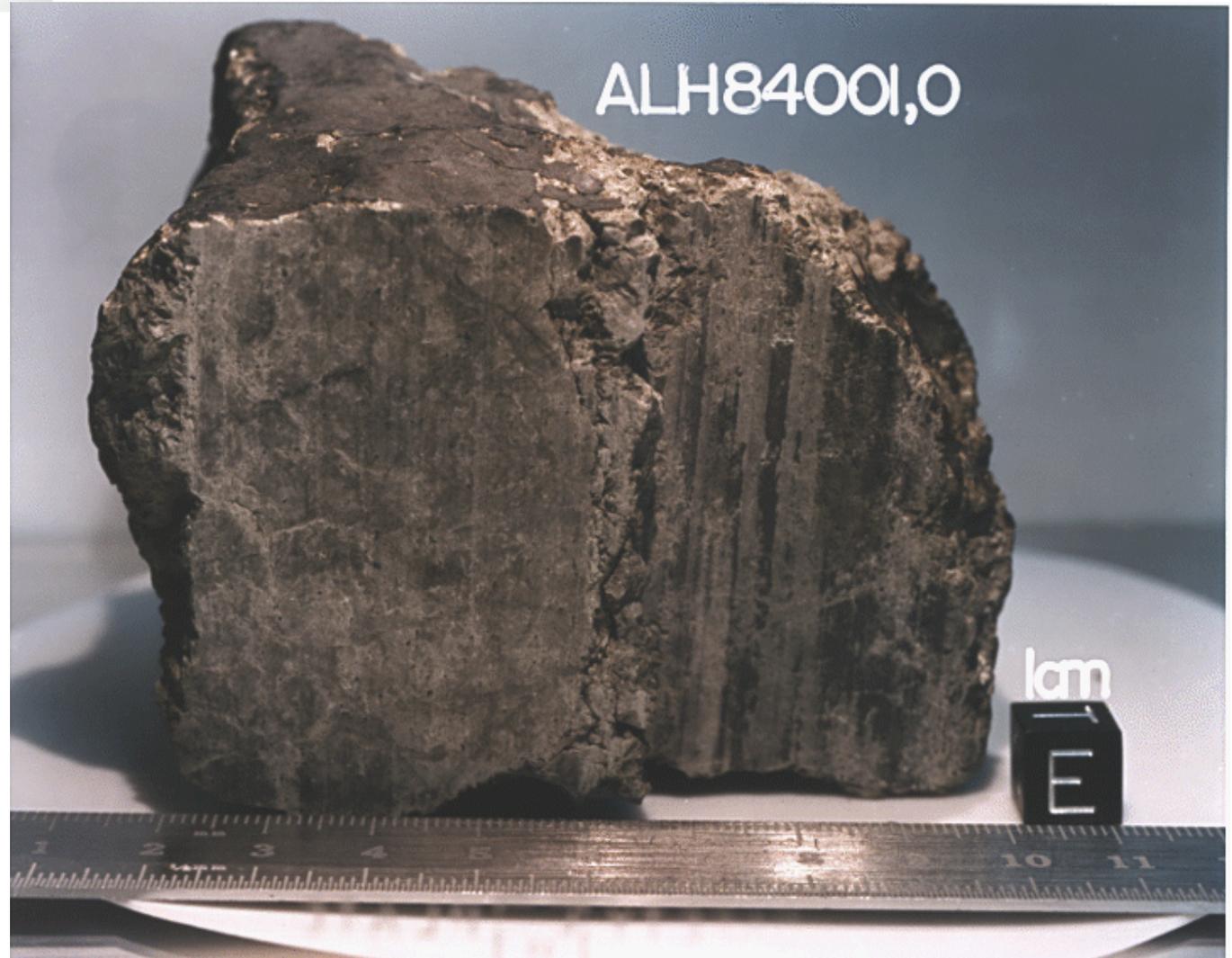
**Vulcani di fango...carbonatico, anche questi prodotti da fuoriuscite di gas (anche metano) e acqua, Devoniano (Marocco). Analoghi molto antichi dei seep freddi?**

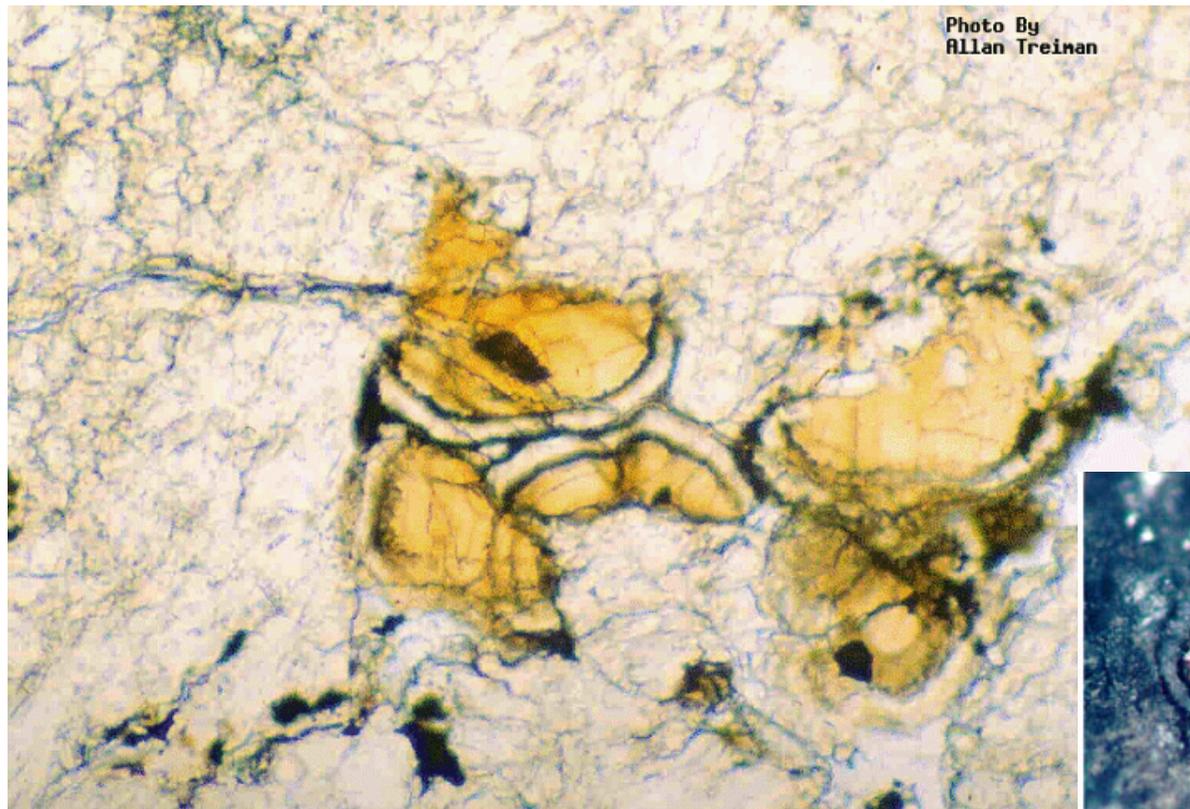


# E le meteoriti? La celebre ALH84001



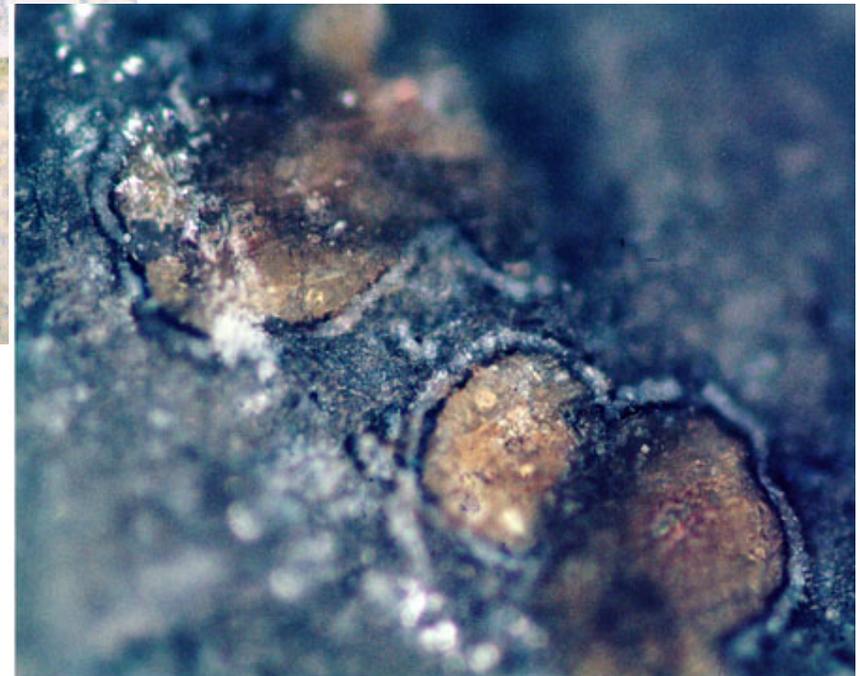
La più antica meteorite marziana, 4,5 miliardi di anni, è un pezzo della crosta primordiale marziana. E' fatta da ortopirosseni al 98%.





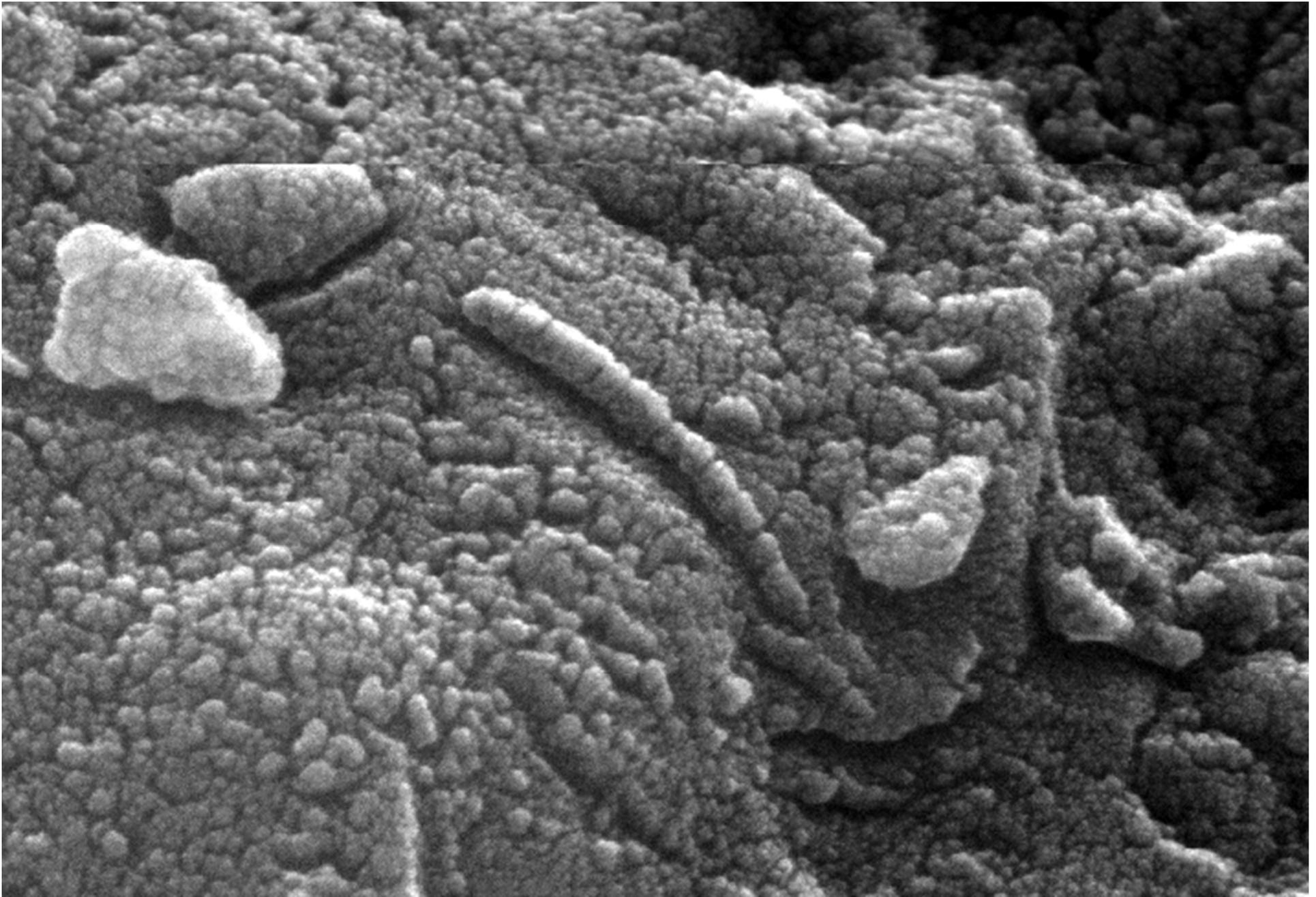
## I granuli carbonatici (circa 1/5 di mm) di ALH84001

In giallo il carbonato con un poco di Fe  
Il bordo bianco è carbonato di Mg (magnesite)  
Nel bordo nero ci sono ossidi di Fe e solfuri



In questi granuli ci sono le tre evidenze che hanno suggerito vita fossilizzata:

- molecole organiche (idrocarburi aromatici)
- biominerali (ossidi e solfuri)
- batteriomorfi



I batteriomorfi di ALH84001 fotografati con un SEM ad alta risoluzione ( $\varnothing$  1/2000 mm)

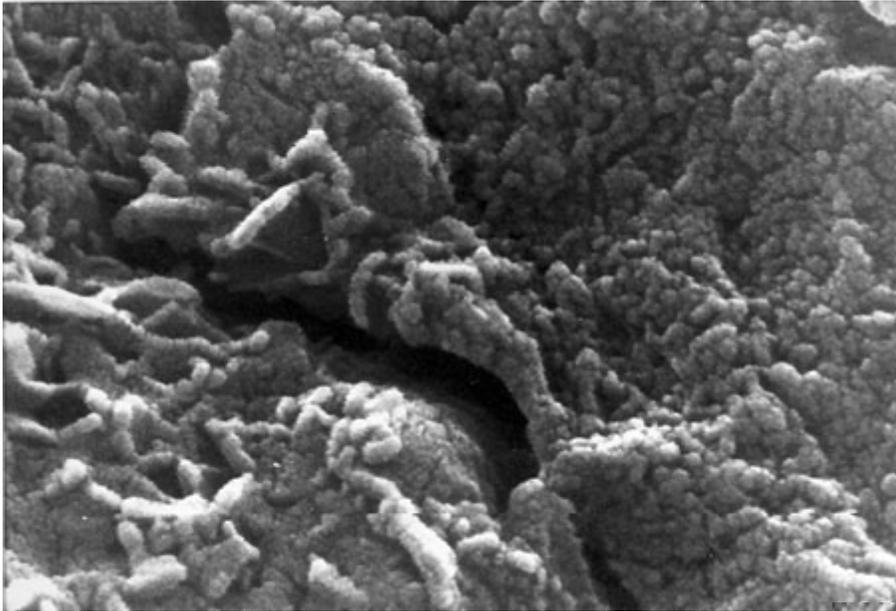
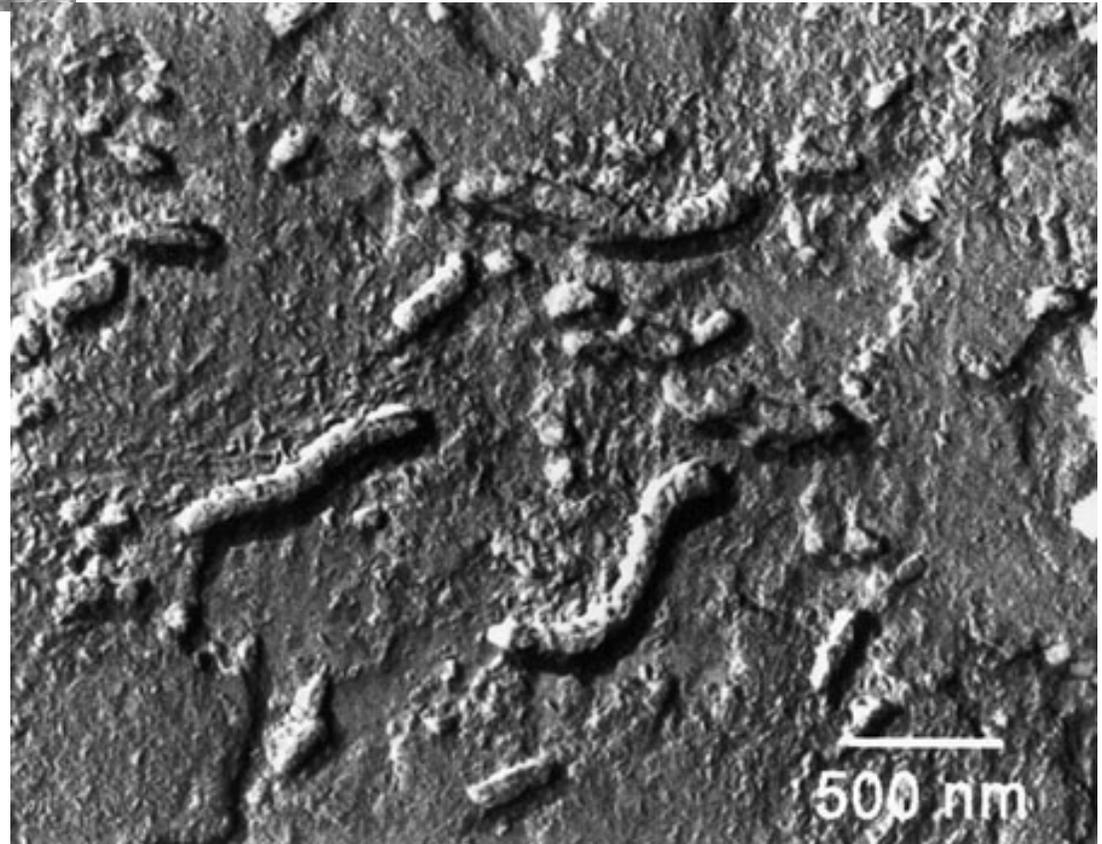
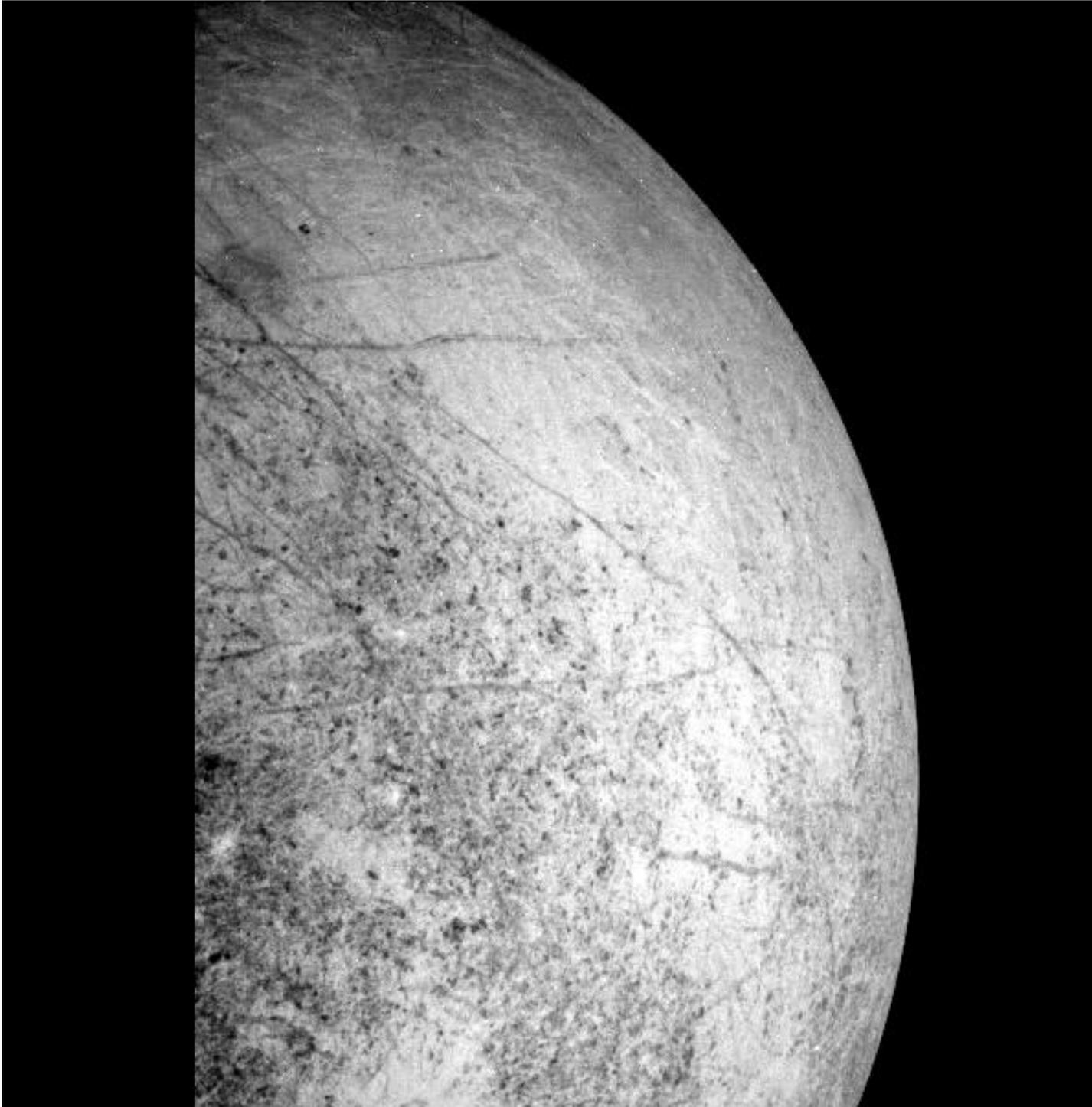


Foto presa con un SEM ad alta risoluzione che mostra possibili fossili di batteri

ALH84001

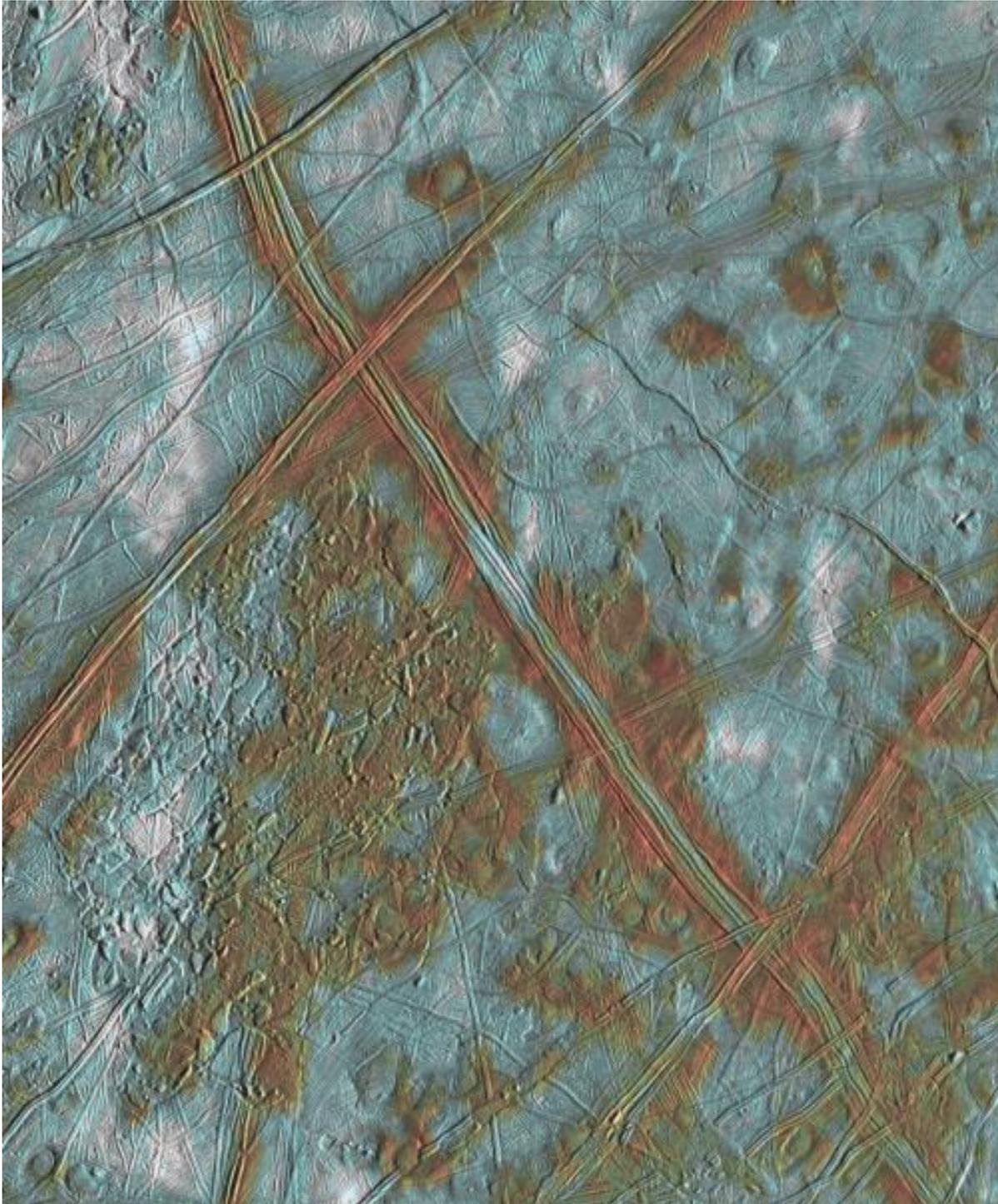
Foto presa con un TEM ad alta risoluzione che mostra possibili fossili di batteri





Europa, luna di  
Giove, visto  
dalla sonda  
Galileo, 1997

Oceani di  
acqua liquida  
sotto la  
superficie  
ghiacciata?

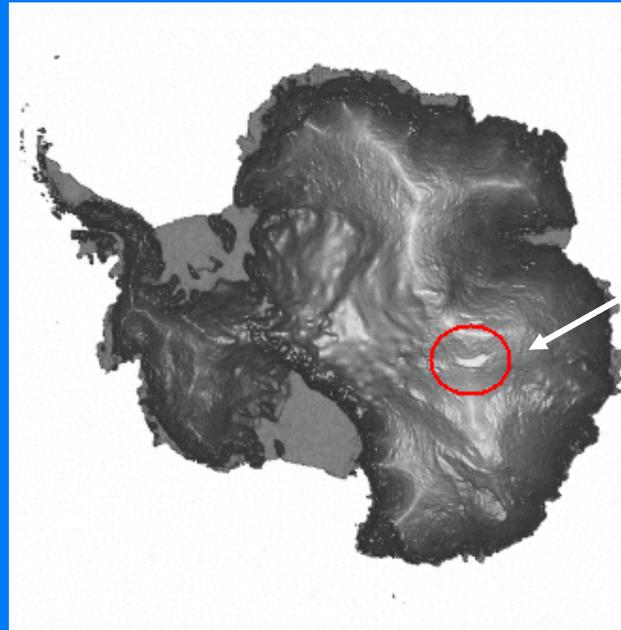


## **La superficie ghiacciata di Europa**

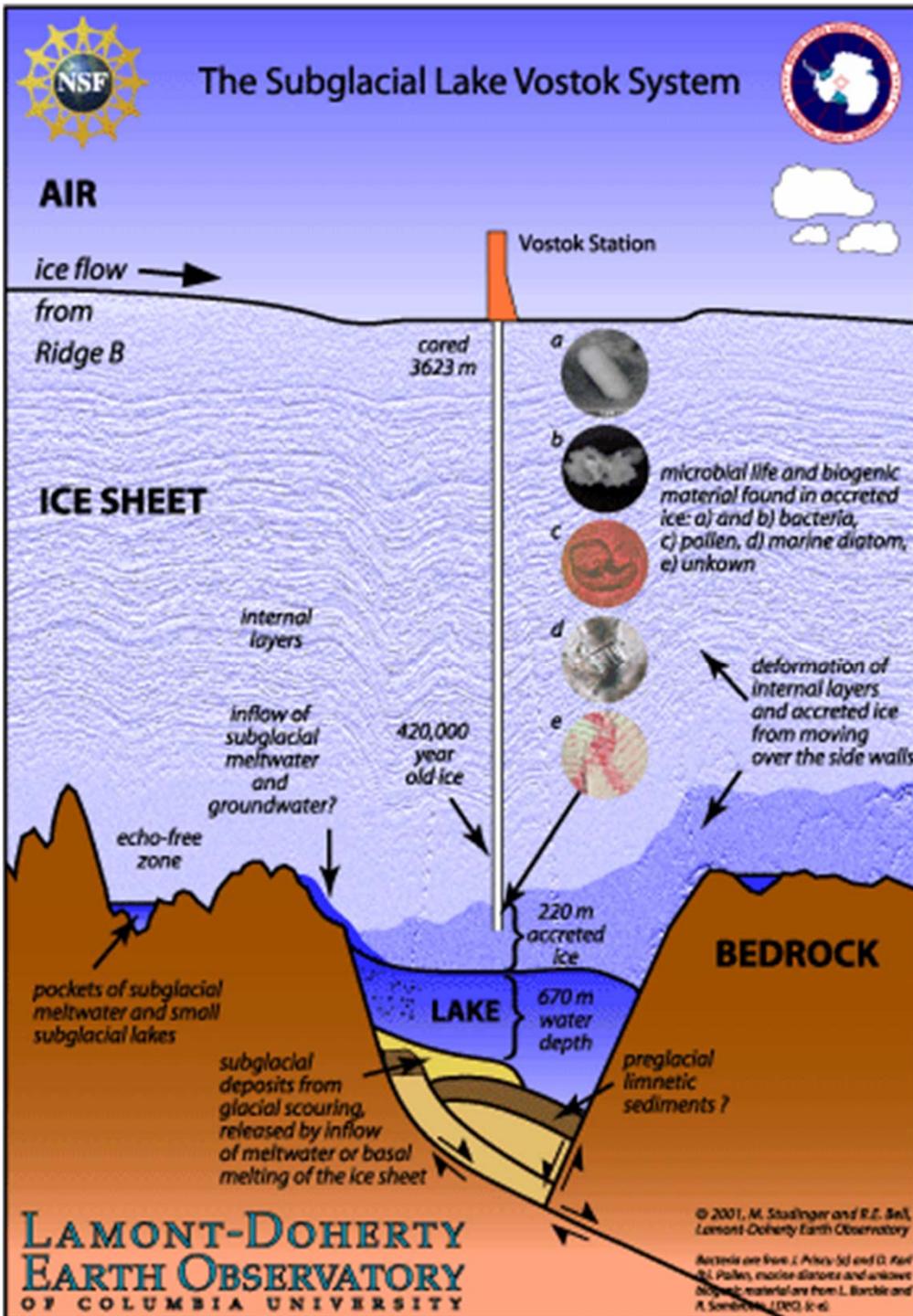
Colore azzurro: aree  
ghiacciate.

Colore rosso: aree  
prive di ghiaccio.

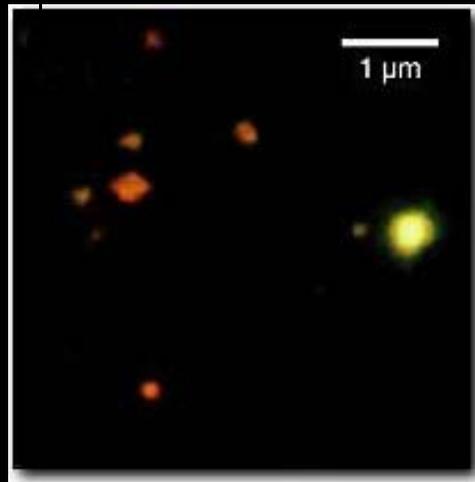
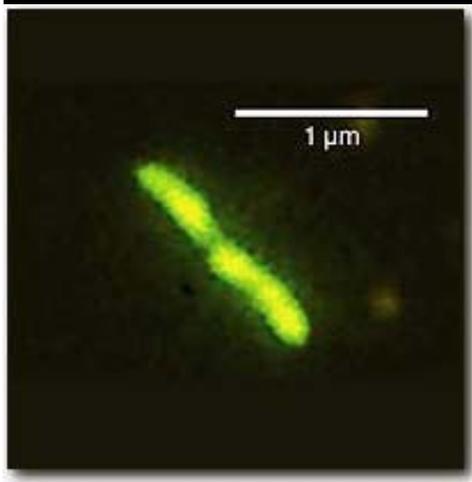
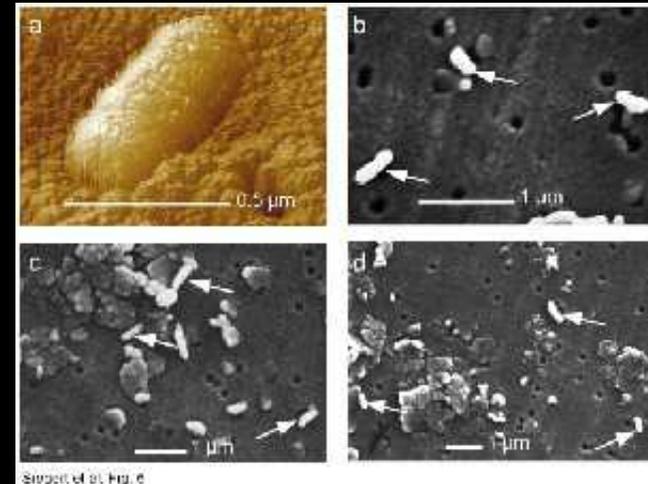
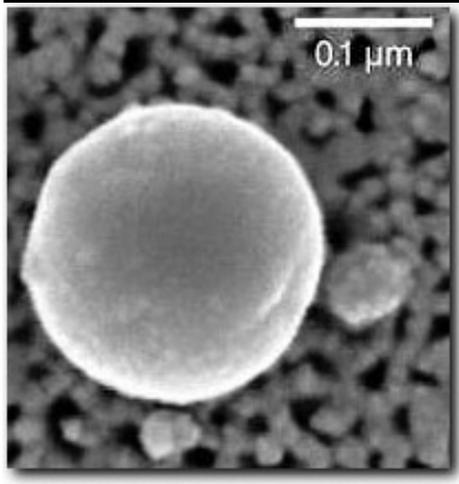
Laghi subglaciali antartici:  
analoghi terrestri di Europa  
(e Callisto)?



Lago Vostok



Lago Vostok:  
 Isolato da luce e aria aperta  
 da centinaia di migliaia d'anni



Batteri visti al microscopio ottico e al SEM estratti dal ghiaccio prodotto dall'acqua del Lago Vostok (Antartide), carotato dai russi.

NASA/Marshall Space Flight Center

800nm 30000X

Colonie microbiche sepolte per  
migliaia d'anni nel ghiaccio  
Antartico.



Alghe unicellulari e batteri viventi sono stati recuperati in ghiaccio del Vostok datato fino a 200mila anni (2,4 km di prof.)

L'acqua del lago potrebbe avere un'età anche di 1 milione di anni!

Forme di vita (?) in totale isolamento, nel buio, sottoposte a elevata pressione e a tenori di ossigeno 50 volte maggiori di un comune lago.

E' un ambiente sufficientemente estremo, vero?



**Per concludere,  
le scoperte astrobiologiche più  
rilevanti sono finora quelle fatte sulla Terra.  
Esse riguardano i microrganismi  
e le loro formidabili capacità di adattarsi  
secondo un amplissimo spettro di condizioni.  
Ciò ha di molto ampliato la possibilità  
che vita possa essere incontrata  
anche oltre il pianeta azzurro.**