

corso di  
ASTROBIOLOGIA  
lezione 8

Modulo prof. Paola Di Donato  
[paola.didonato@uniparthenope.it](mailto:paola.didonato@uniparthenope.it)

# VITA NEL SISTEMA SOLARE?

## ARGOMENTI

- Venere, una serra caldissima
- Marte
- Oceani nascosti
- Mari di metano

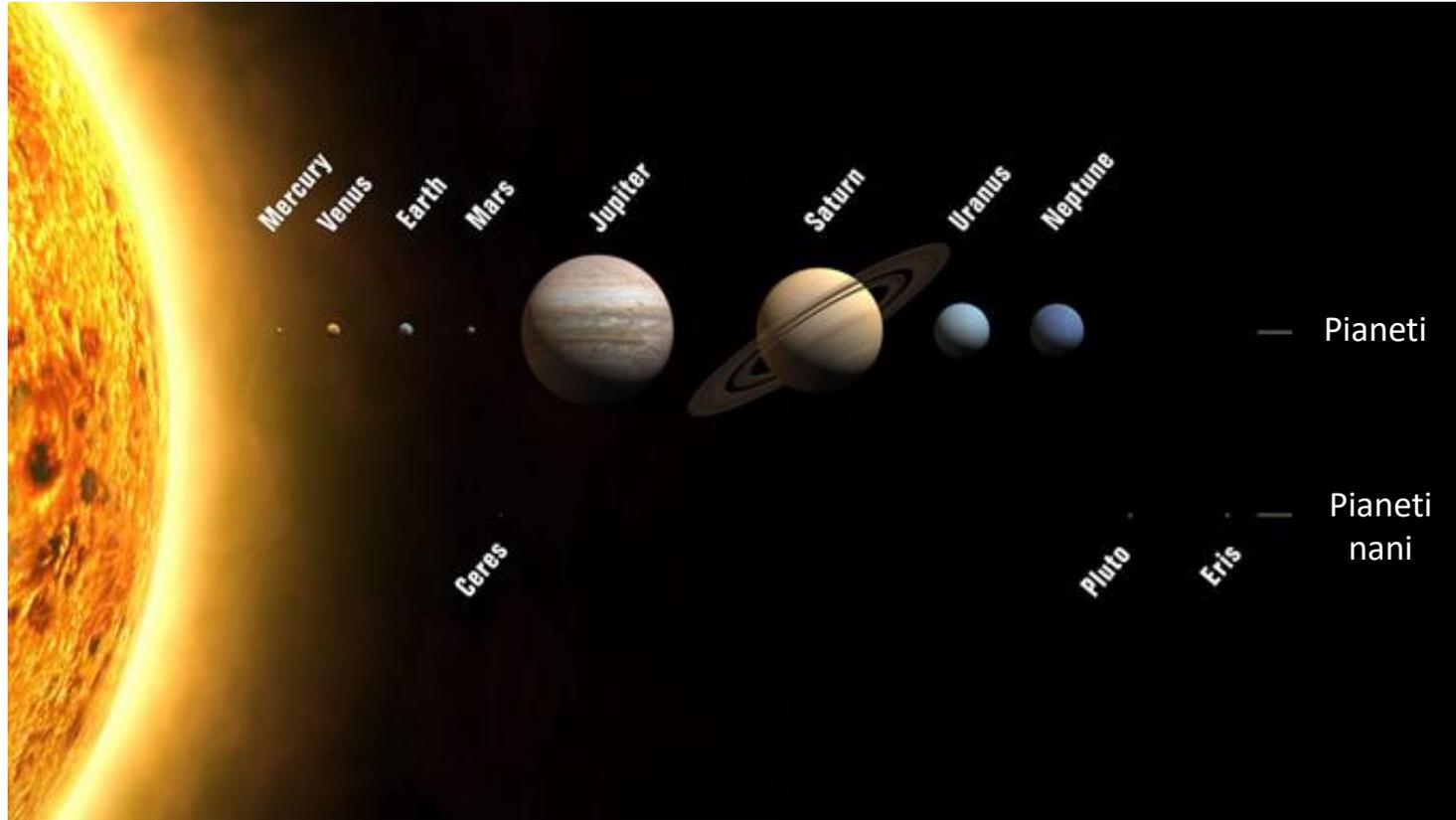
# VITA NEL SISTEMA SOLARE?

Sulla Terra è possibile rinvenire la presenza di forme di vita in ambienti caratterizzati da condizioni chimico-fisiche estreme molto simili a quelle presenti in altri corpi celesti del Sistema Solare.

Il vasto intervallo di condizioni nelle quali possono svilupparsi organismi viventi sul nostro pianeta fa immaginare di poter trovare la vita anche altrove.

L'esplorazione di pianeti e satelliti mediante *orbiters* (sonde orbitanti), *landers* (sonde che atterrano sul suolo) e *rovers* (robot mobili che esplorano il suolo) rappresenta pertanto una delle principali attività della ricerca in ambito astrobiologico.

# Venere, una serra caldissima



# Venere, una serra caldissima

## VENERE



Raggio:	6'052 km
Distanza dal Sole:	108.2 Milioni km
Massa:	$49 \cdot 10^{23}$ kg
Rotazione:	243 g
Rivoluzione:	224.7 g
Temperatura media:	464°C
Inclinazione asse:	177°

## TERRA



Raggio:	6'371 km
Distanza dal Sole:	149.6 Milioni km
Massa:	$60 \cdot 10^{23}$ kg
Rotazione:	23h 56m 04 s
Rivoluzione:	365.25 g
Temperatura media:	15°C
Inclinazione asse:	23° 27'

# Venere, una serra caldissima

Il pianeta si è originato circa 4,5 Ga fa ed ha massa e struttura molto simili alla Terra.

L'intensa attività vulcanica, presente sin dalle origini, ha provocato un **effetto serra a valanga**: i gas emessi dai vulcani non sono stati assorbiti dalle rocce e si sono accumulati in atmosfera facendo aumentare la temperatura fino a 465°C.

L'accumulo dei gas in atmosfera ha comportato un aumento della pressione superficiale che è attualmente pari a 9,5 MPa (~93,8 atm).

Le piogge sono acide a causa dell' $\text{H}_2\text{SO}_4$  che si forma in atmosfera per reazione tra  $\text{SO}_2$  emessa dai vulcani e il vapor d'acqua.

# Venere, una serra caldissima... però....

**2020:** viene rinvenuta presenza di  $\text{PH}_3$  (fosfina) in atmosfera, in quantità non compatibile con una produzione inorganica (a partire da emissioni vulcaniche o fotolisi di  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) anche in considerazione dell'effetto distruttivo di UV e luce solare che la distruggono

**Prima ipotesi:** prodotta da batteri anaerobi nel sottosuolo di Venere.

Tali batteri si sarebbero formati prima del Grande Bombardamento, che ha fatto spostare l'asse di rotazione e ha causato una esposizione al sole da cui si è generato il surriscaldamento del pianeta. In tal caso però una volta fuoriuscita dal sottosuolo, la  $\text{PH}_3$  si decomporrebbe per effetto della temperatura che su Venere è pari a  $465^\circ\text{C}$ , mentre a  $375^\circ\text{C}$  la fosfina si decompone.

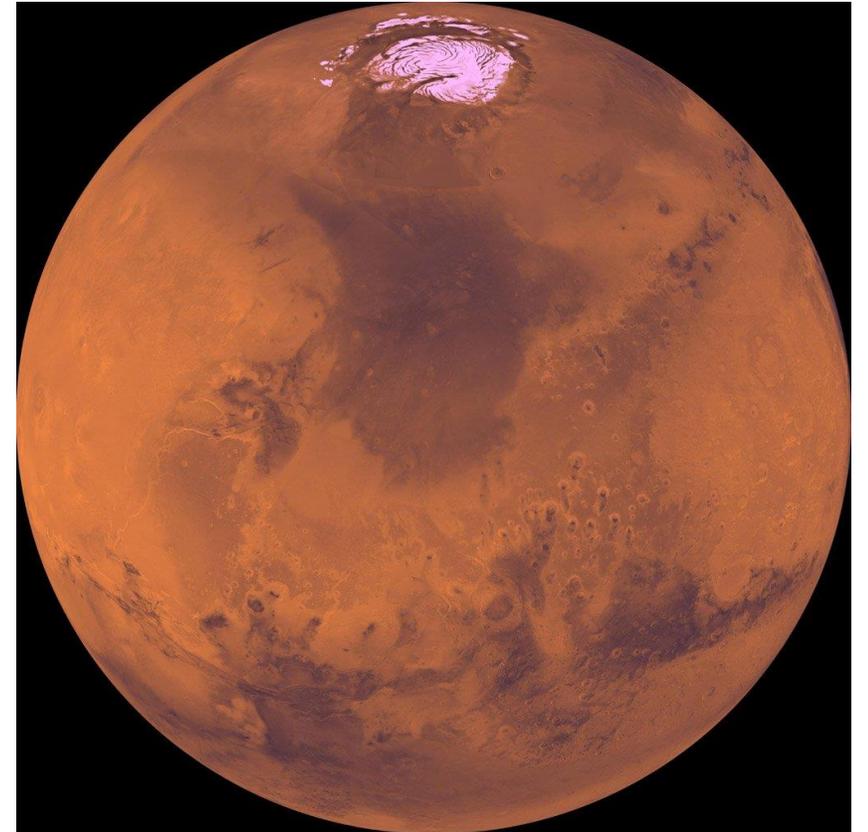
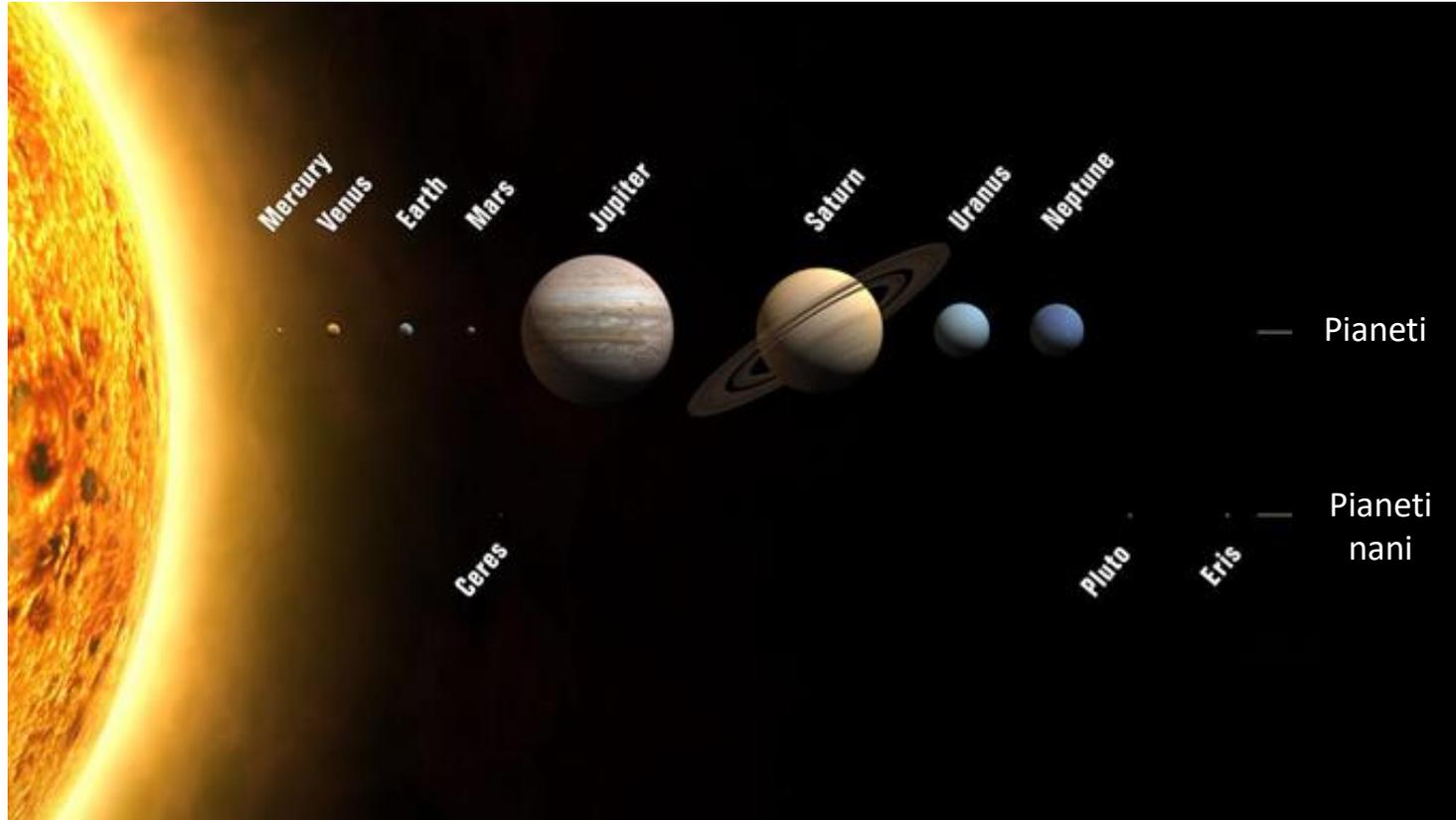
# Venere, una serra caldissima... però....

**2020:** viene rinvenuta presenza di  $\text{PH}_3$  (fosfina) in atmosfera, in quantità non compatibile con una produzione inorganica (a partire da emissioni vulcaniche o fotolisi di  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) anche in considerazione dell'effetto distruttivo di UV e luce solare che la distruggono

**Seconda ipotesi:** prodotta da batteri anaerobi nella troposfera di Venere.

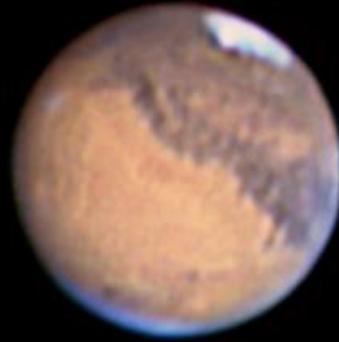
In troposfera, ovvero a 60 Km dal suolo, le temperature vanno da  $0^\circ$  a  $60^\circ\text{C}$ , e in tali ambienti la presenza di vapore acqueo consentirebbe la sopravvivenza di specie batteriche che producono la fosfina. Tali specie potrebbero essersi originate sia su Venere, ed essere rimaste sospese in troposfera dove avrebbero trovato una nicchia ecologica favorevole, che sulla Terra da cui potrebbero essere sfuggite dopo impatto con una meteora.

# Marte



# Marte

## MARTE



Raggio:	3'390 km
Distanza dal Sole:	227.9 Milioni km
Massa:	$6.4 \cdot 10^{23}$ kg
Rotazione:	24h 37m 23 s
Rivoluzione:	687 g
Temperatura media:	-63°C
Inclinazione asse:	25°

## TERRA



Raggio:	6'371 km
Distanza dal Sole:	149.6 Milioni km
Massa:	$60 \cdot 10^{23}$ kg
Rotazione:	23h 56m 04 s
Rivoluzione:	365.25 g
Temperatura media:	15°C
Inclinazione asse:	23° 27'

# Marte

Il pianeta ha avuto una evoluzione iniziale molto simile a quella della Terra  
ovvero:

- Fusione per aggregazione di planetesimi
- Grande bombardamento di corpi rocciosi e cometari
- Vulcanesimo accompagnato da emissioni laviche e gassose

# Marte

L'evoluzione si svolge lungo quattro principali ere che prendono il nome dalle rispettive aree geografiche:

- Pre-Noachiano (4.5 - 4.1 miliardi di anni fa)
- Noachiano (4.1 - 3.7 miliardi di anni fa)
- Esperiano (3.7 - 2.9 miliardi di anni fa)
- Amazoniano (2.9 miliardi di anni fa)

# Marte

- Pre-Noachiano (4.5 - 4.1 miliardi di anni fa) e Noachiano (4.1 - 3.7 miliardi di anni fa)

Epoca nella quale è nato il pianeta ed i suoi territori più antichi che sono concentrati nella regione definita **Noachis Terra**.

Dominata da un ambiente ancora caldo o comunque tiepido, e caratterizzato da grandi crateri da impatto quali Hellas, Argira e Isidis.

Presenza di un'atmosfera forse molto densa come confermato dalla scarsità di crateri antichi e dalla presenza di crateri più piccoli rispetto a quelli prevedibili in assenza di essa, ovvero come invece si riscontra oggi.

# Marte

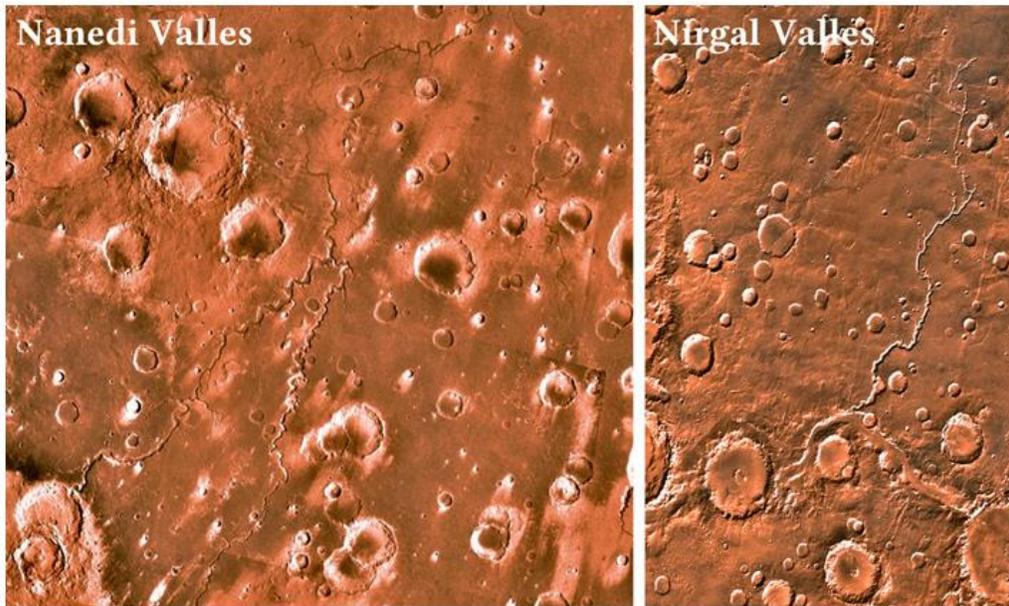
- Pre-Noachiano (4.5 - 4.1 miliardi di anni fa) e Noachiano (4.1 - 3.7 miliardi di anni fa)



Crateri nel bacino di Hellas

# Marte

- Pre-Noachiano (4.5 - 4.1 miliardi di anni fa) e Noachiano (4.1 - 3.7 miliardi di anni fa)



Vallate comprese nella  
*valley networks*

Epoca nella quale probabilmente era presente acqua allo stato liquido:

- in forma di fiumi, come confermato dalle *valley networks*, ovvero una rete di vallate verosimilmente prodotte dall'azione di un flusso lento ed erosivo simile a quello fluviale, che termina con canali simili a quelli fluviali terrestri
- in forma di oceano, come suggerito dalla morfologia dei canali che si interrompono all'improvviso e dai dati raccolti dal satellite Mars Global Surveyor nel 1999.

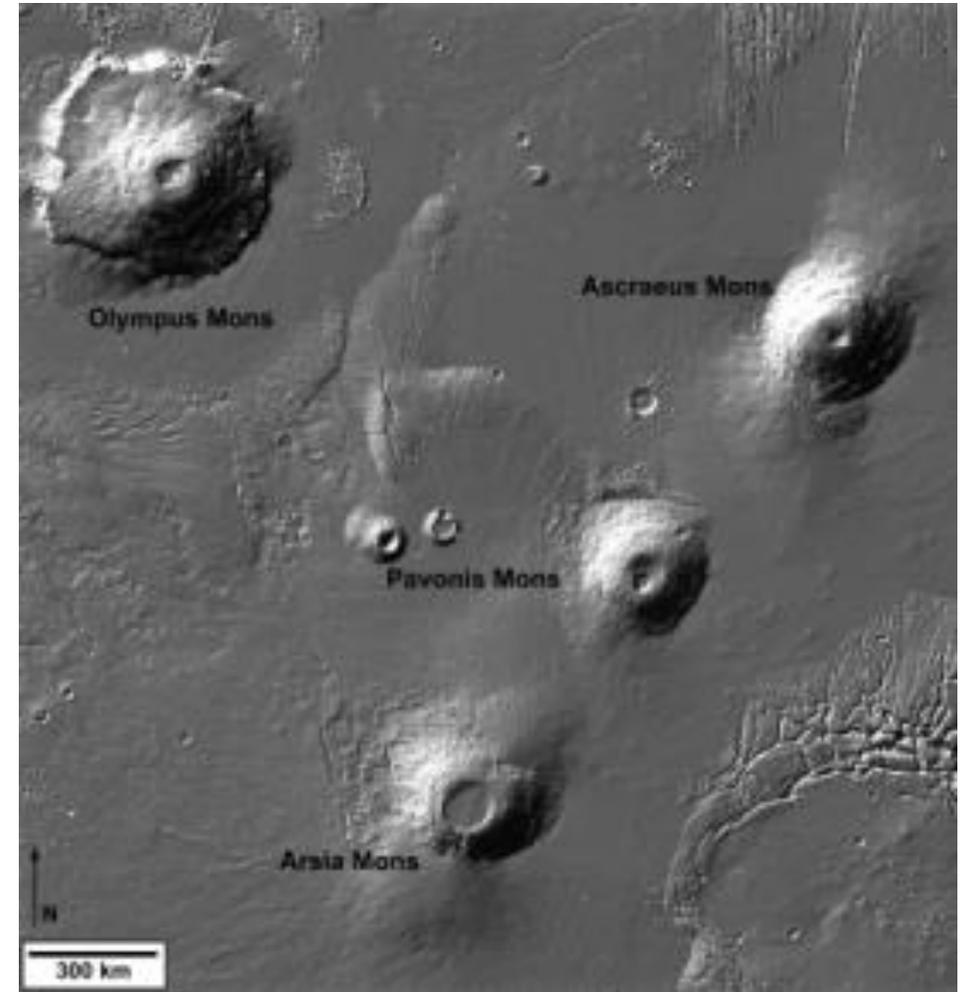
# Marte

- Esperiano (3.7 - 2.9 miliardi di anni fa)

Periodo più recente della storia marziana in cui appare la grande regione denominata Tharsis, dove spiccano i vulcani più alti del Sistema Solare come Arsia, Ascreus, Pavonis e Olympus, di quasi 27 km.

Sul lato est di Tharsis appare la più grande frattura della crosta, lunga ~4000 km, detta Valles Marineris.

Il vulcanesimo di Tharsis su grande scala conterà poi fino alla successiva era geologica, ovvero l'Amazoniano.



Vulcani nella regione di Tharsis

# Marte

- Amazoniano (2.9 miliardi di anni fa - oggi)

Periodo caratterizzato da temperature più basse di quelle del Noachiano, difatti lo studio della morfologia dei suoli evidenzia la presenza di vallate dalla forma ad U tipica dei ghiacciai, piuttosto che a forma di V invece tipica di fiumi e quindi indicativa della presenza di acqua allo stato liquido.

La minore attività vulcanica, rispetto alla Terra o a Venere, ha interrotto l'emissione di gas nell'atmosfera del pianeta con conseguente perdita del gas serra.

La perdita di atmosfera dovuta alla scomparsa dell'effetto serra e quindi di gran parte del vapor acqueo, ha comportato l'abbassamento sia delle temperature che della pressione al suolo che si è ridotta a circa 7 hPa (6,91 mBar).

# Marte

- Amazoniano (2.9 miliardi di anni fa - oggi)

L'atmosfera così tenue e la conseguente mancanza di effetto serra producono temperature che possono raggiungere ai tropici i 27 °C, d'estate e poche ore dopo mezzogiorno, per crollare ai poli fino a -130° C durante la notte.

La bassa pressione atmosferica impedisce la distribuzione del calore e il gradiente termico verticale arriva a 10 gradi tra il suolo e 1 metro di altezza.

Sul terreno la temperatura è più alta quando il sole riscalda le rocce e più bassa durante la notte.

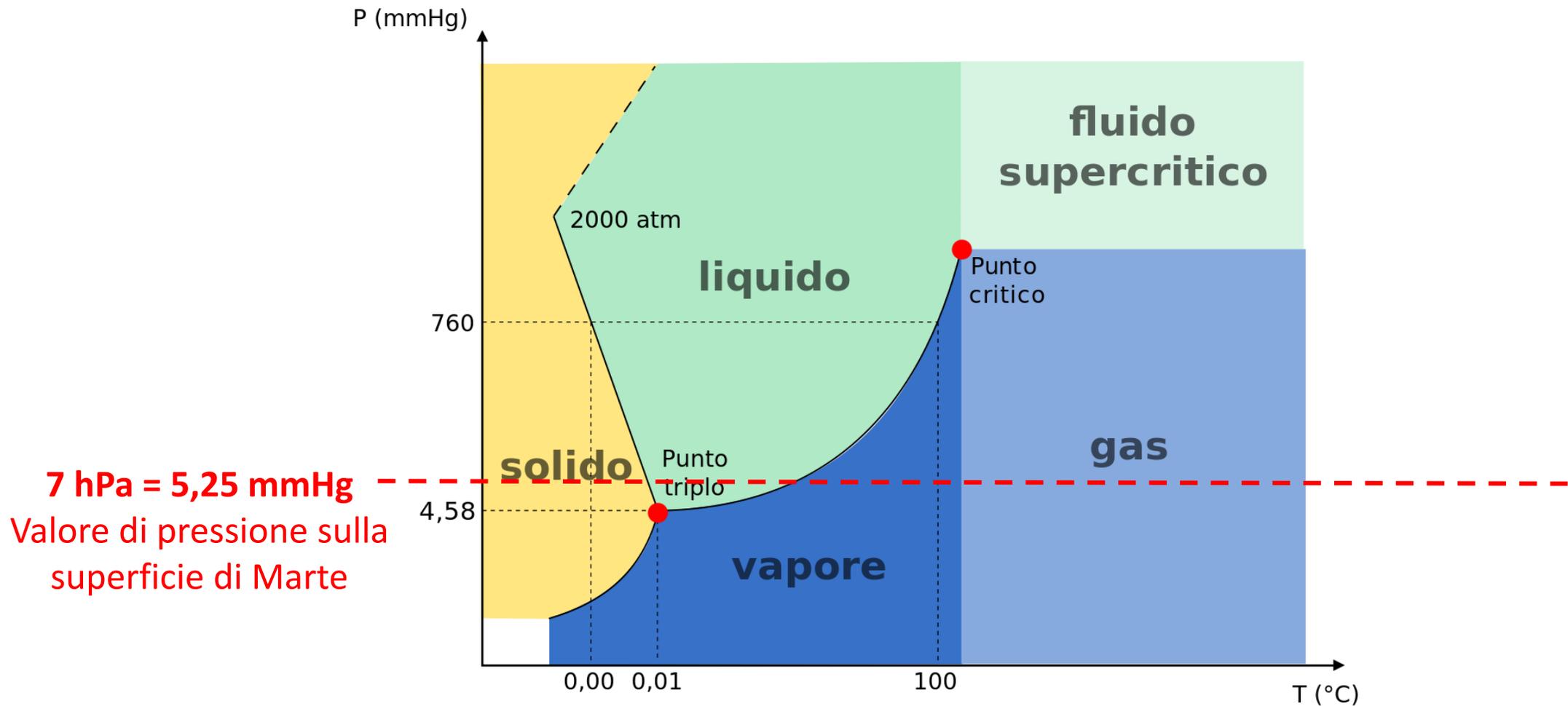
# Marte: la presenza dell'acqua

Periodo caratterizzato da temperature più basse di quelle del Noachiano, difatti lo studio della morfologia dei suoli evidenzia la presenza di vallate dalla forma ad U tipica dei ghiacciai, piuttosto che a forma di V invece tipica di fiumi e quindi indicativa della presenza di acqua allo stato liquido.

La minore attività vulcanica, rispetto alla Terra o a Venere, ha interrotto l'emissione di gas nell'atmosfera del pianeta con conseguente perdita del gas serra.

La perdita di atmosfera dovuta alla scomparsa dell'effetto serra e quindi di gran parte del vapor acqueo, ha comportato l'abbassamento sia delle temperature che della pressione al suolo che si è ridotta a circa 7 hPa (6,91 mBar).

# Marte: la presenza dell'acqua



# Marte: la presenza dell'acqua

Ma l'acqua marziana non è pura difatti essa può avere un alto contenuto di sali perclorati di sodio e magnesio, che abbassano la temperatura di solidificazione fino a  $-75\text{ °C}$  e quella di evaporazione fino a  $23\text{ °C}$ .

Nonostante ciò, i due limiti sono facilmente superati dall'ampia escursione termica di un giorno marziano, per esempio da  $-80$  a  $+10\text{ °C}$  in poche ore.

Questo rende impossibile la presenza di laghi o fiumi in superficie: se c'è acqua allo stato liquido questa può essere presente solo nel sottosuolo.

# Marte: la presenza dell'acqua

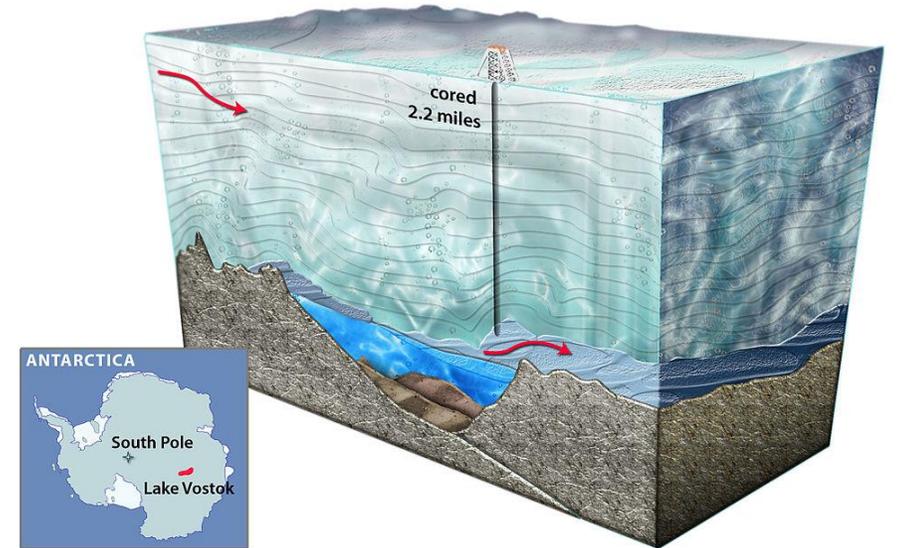
La sonda Mars Express, lanciata nel 2003 dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) ha esplorato, utilizzando un radar, la calotta polare Sud di Marte ed ha rivelato in tale regione un'ampia distesa di acqua liquida sepolta sotto i ghiacci.



# Marte: la presenza dell'acqua

La presenza di acqua allo stato liquido è stata evidenziata anche in altre regioni quale ad esempio la regione di Ultimi Scopuli.

Nel 2020 è stato trovato sotto 1,5 km di ghiaccio della calotta un deposito d'acqua di 20×30 km, circondato da pozze di minore dimensione, e molto simile al lago Vostok in Antartide: quest'acqua non congela sia per il contenuto di sali, che si ipotizza sia molto alto, sia per la pressione degli strati sovrastanti.



**Lago Vostok, Antartide**

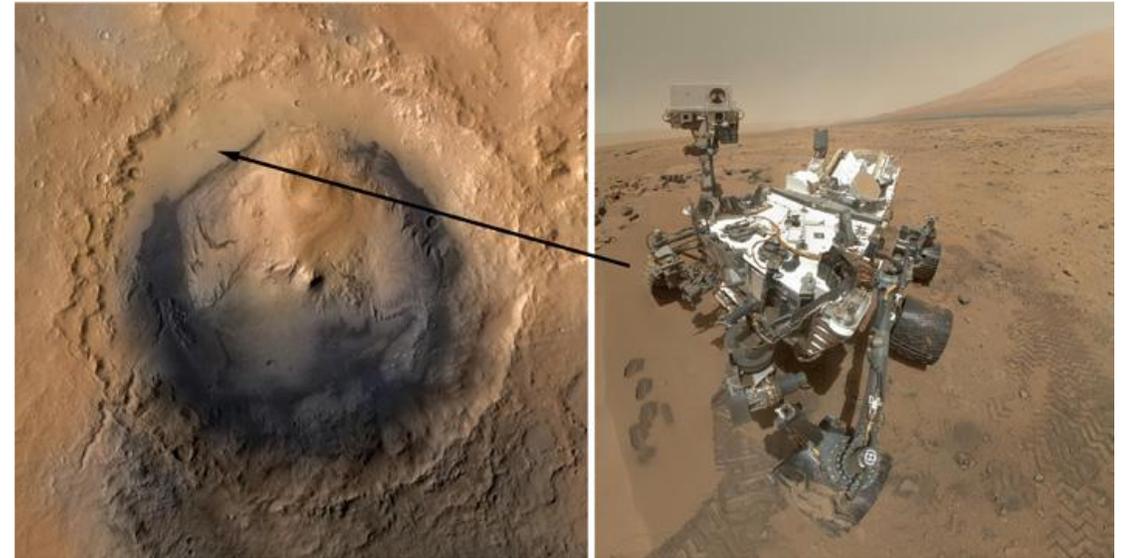
# Marte: la presenza dell'acqua

La presenza di acqua allo stato liquido in passato è evidenziata anche dallo studio della mineralogia di regioni quale il cratere Gale.

La sonda Curiosity ha infatti rilevato materiali idrati in cui l'acqua costituisce dall'1,5 al 3 % del peso.

L'antico lago presente fino a 3,3 Ga ha formato sedimenti stratificati, con zone ricche di sali ossidanti e fondali poveri di essi.

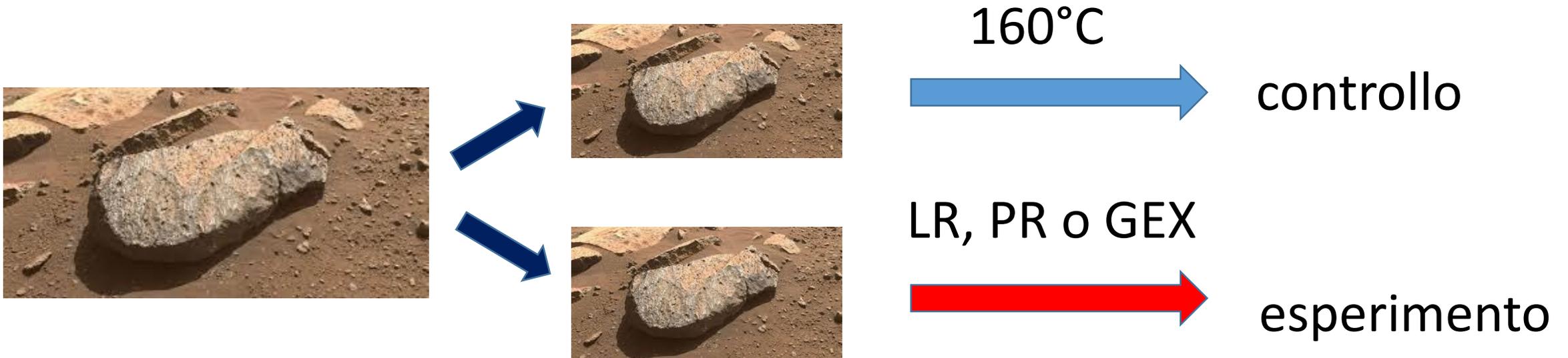
Alcuni minerali presenti, contenenti carbonio e ossigeno, appaiono formati in una fase fredda, in un'epoca glaciale o dopo il definitivo congelamento del pianeta.



# Marte: la presenza di vita

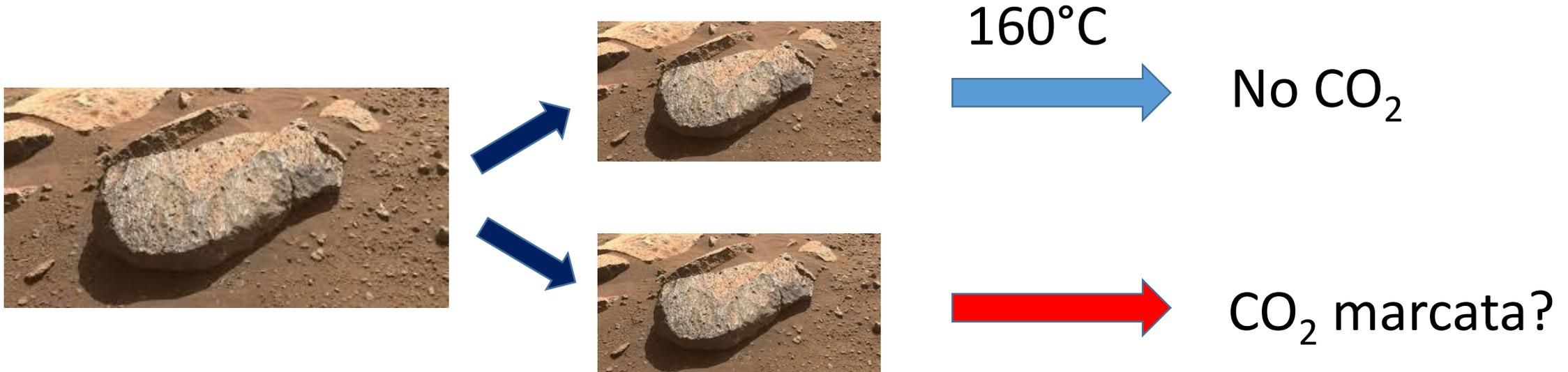
## Gli esperimenti biologici delle sonde Viking

1. rilascio di gas marcato (LR = *labelled release*)
2. rilascio pirolitico (PR = *pyrolytic release*)
3. scambio di gas (GEX = *gas exchange*)



# Marte: la presenza di vita

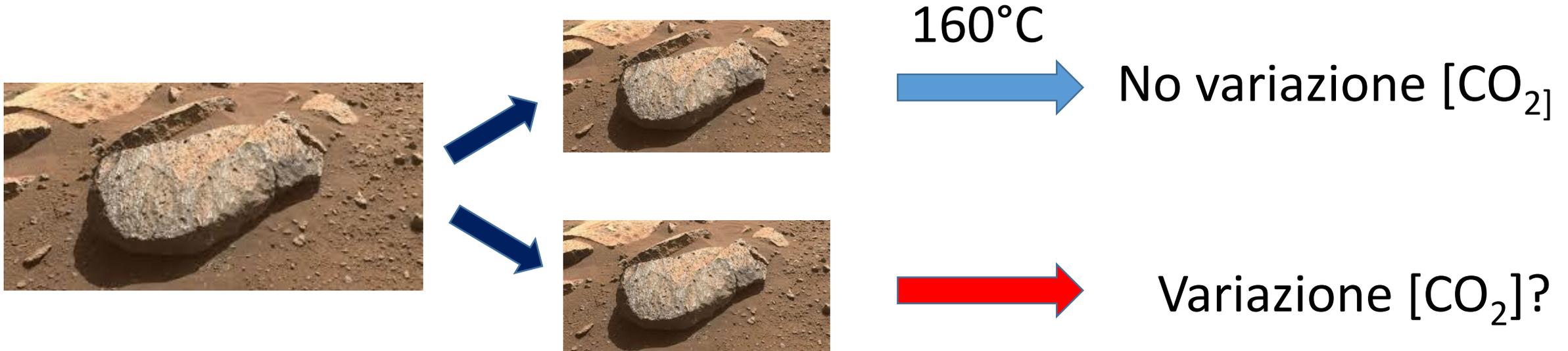
## 1. rilascio di gas marcato (LR = *labelled release*)



Scopo: verificare se ci sono microorganismi che metabolizzano le sostanze organiche. In questo esperimento il campione di suolo marziano viene incubato in presenza di 1 cc di soluzione nutriente composta da acqua distillata e composti organici simili a quelli dell'esperimento di Miller marcati con <sup>14</sup>C ovvero l'isotopo radioattivo del carbonio

# Marte: la presenza di vita

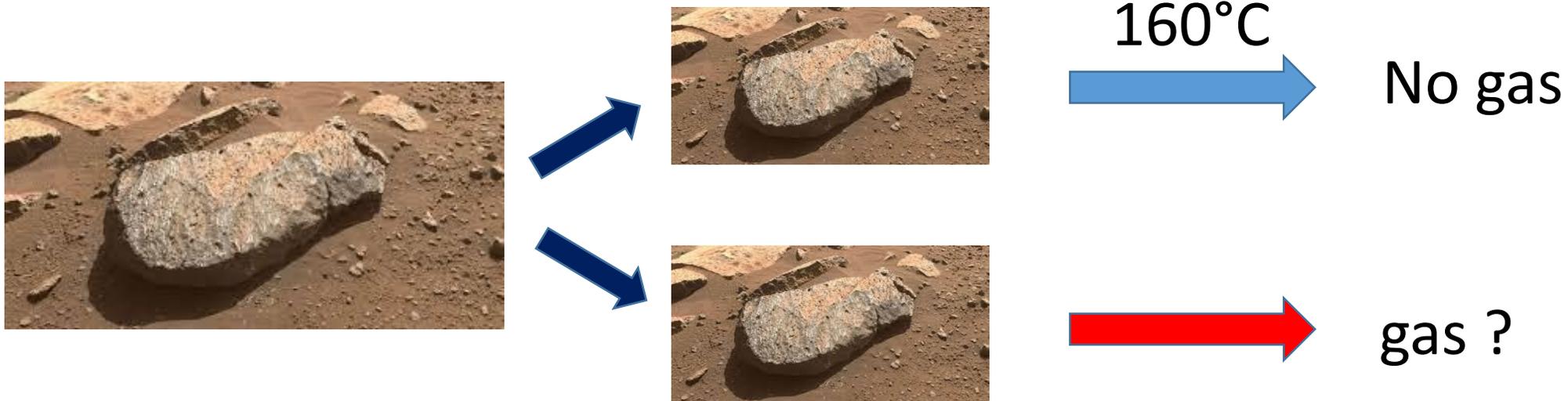
## 2. rilascio pirolitico (PR = *pyrolytic release*)



Scopo: verificare se esistevano microrganismi in grado di assorbire l'anidride carbonica dall'atmosfera, come fanno le piante terrestri che utilizzano la fotosintesi. La prima analisi ha dato risultati positivi per entrambi i Viking mentre la seconda ha dato risultati molto variabili. La conclusione è che il risultato non sembra influenzato dalla presenza di luce o buio, come sarebbe nel caso della fotosintesi

# Marte: la presenza di vita

## 3. scambio di gas (GEX = *gas exchange*)



Scopo: verificare le variazioni dei gas presenti nella camera di test, dove era trasportato del suolo marziano.

Il campione veniva esposto ai vapori di una soluzione acquosa contenente sostanze nutrienti quali amminoacidi, vitamine, saccarosio, lattosio e zuccheri. Eventuali microrganismi li avrebbero metabolizzati liberando dei gas che sono stati monitorati con appositi strumenti. Tuttavia non è stata evidenziata alcuna produzione significativa di gas.

# Marte: la presenza di vita

## Gli esperimenti biologici delle sonde Viking

1. rilascio di gas marcato (LR = *labelled release*)
2. rilascio pirolitico (PR = *pyrolytic release*)
3. scambio di gas (GEX = *gas exchange*)

Dei vari esperimenti, l'unico che ha acceso un dibattito nella comunità scientifica, sostenuto dal coordinatore degli esperimenti dei Viking, Gilbert Levin, è quello di **rilascio marcato (LR)**.

Altri studiosi però hanno concluso che i risultati dell'esperimento erano dovuti a una reazione chimica con sostanze ossidanti all'interno dei campioni di suolo marziano.

# Marte: la presenza del metano

La sonda Mars Express, lanciata nel 2003 dall'ESA nonché osservazioni effettuate con telescopi terrestri hanno rilevato un'emissione di metano, che raggiunge un massimo nell'estate marziana.

L'emissione periodica di metano nella stagione calda è stata trovata anche al suolo nel cratere Gale.

L'origine del metano su Marte potrebbe essere sia di tipo biologico (batteri metanogeni che si sono rifugiati nel sottosuolo) che di tipo inorganico (serpentinizzazione)

# Marte: la presenza della vita (?)

Marte certamente in passato ha avuto un'atmosfera densa, che gli ha permesso di avere sulla sua superficie acqua allo stato liquido che indispensabile per la vita.

Quando sulla Terra è apparsa la vita (3,95 e 3,5 Ga) anche Marte aveva acqua liquida, poi però la scomparsa del vulcanesimo e la conseguente perdita dell'atmosfera hanno impedito che queste condizioni favorevoli durassero fino ai nostri giorni.

# Marte: la presenza della vita (?)

L'eventuale materiale organico accumulatosi al suolo è stato probabilmente distrutto dai raggi ultravioletti del Sole, non schermati per assenza di ozono atmosferico, e da altri processi quali le reazioni chimiche con sostanze ossidanti abbondanti nel terreno.

Se una forma di vita batterica si è sviluppata in passato sul pianeta, essa può essere sopravvissuta in ambienti particolari sotto forma di estremofili oppure può essersi estinta milioni di anni fa lasciando solo tracce nel terreno.

# Oceani nascosti nel Sistema Solare

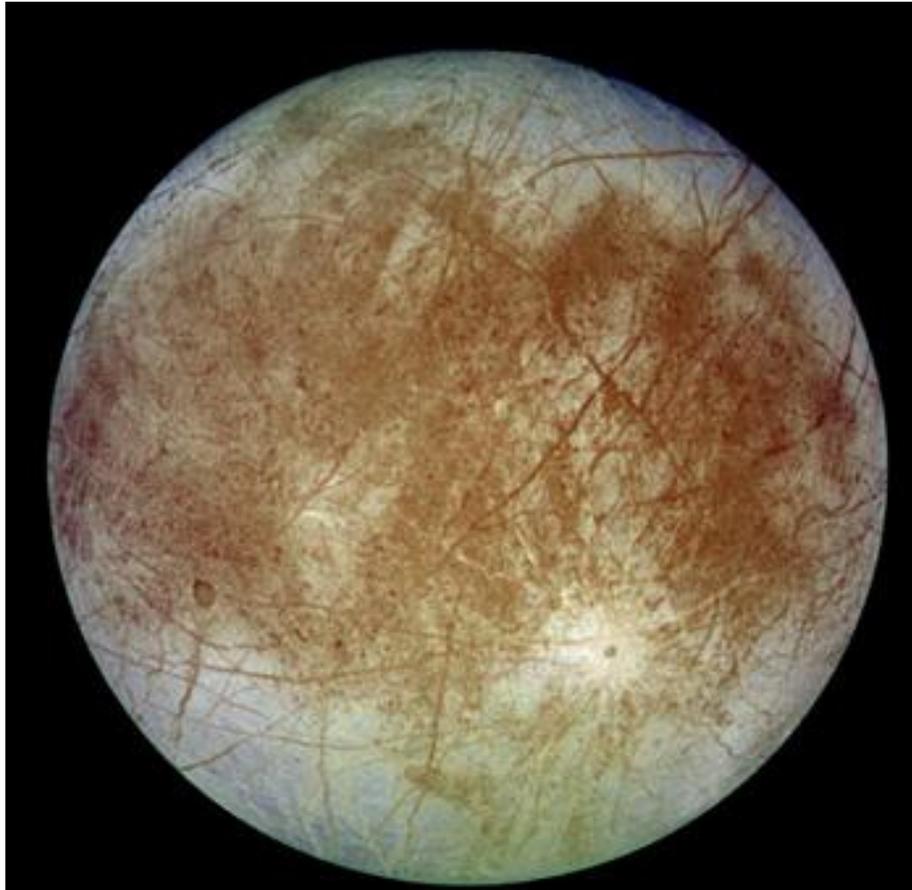
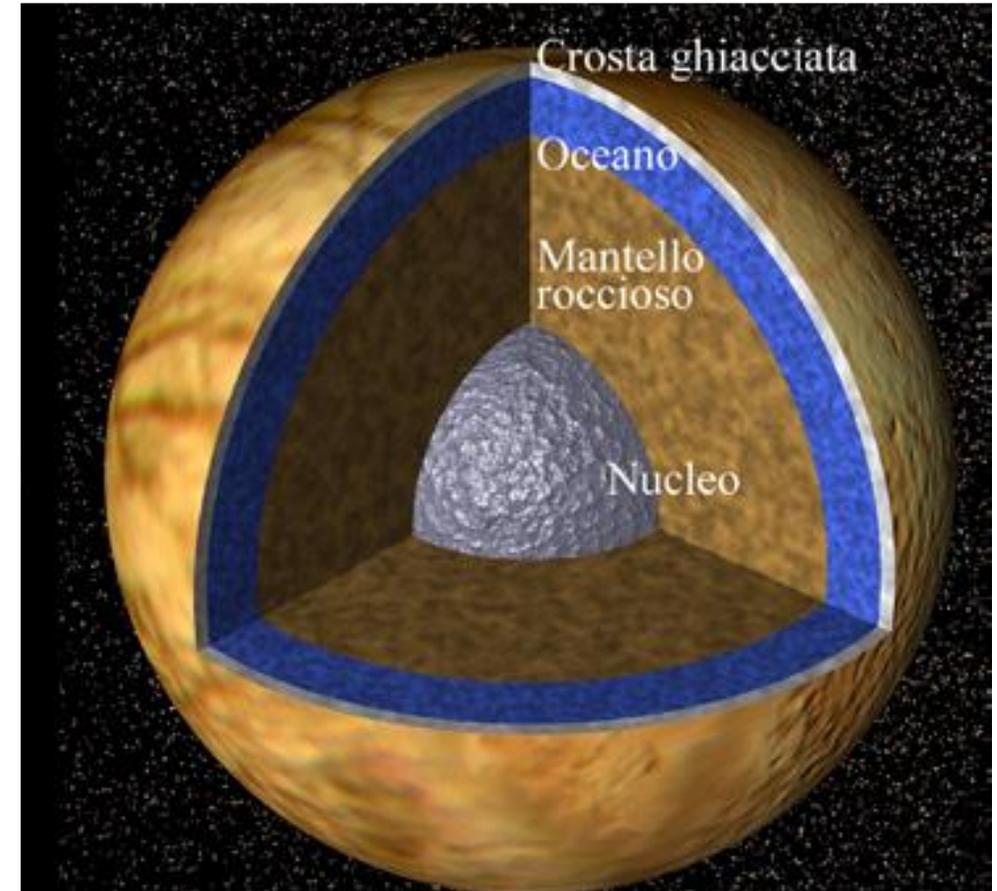


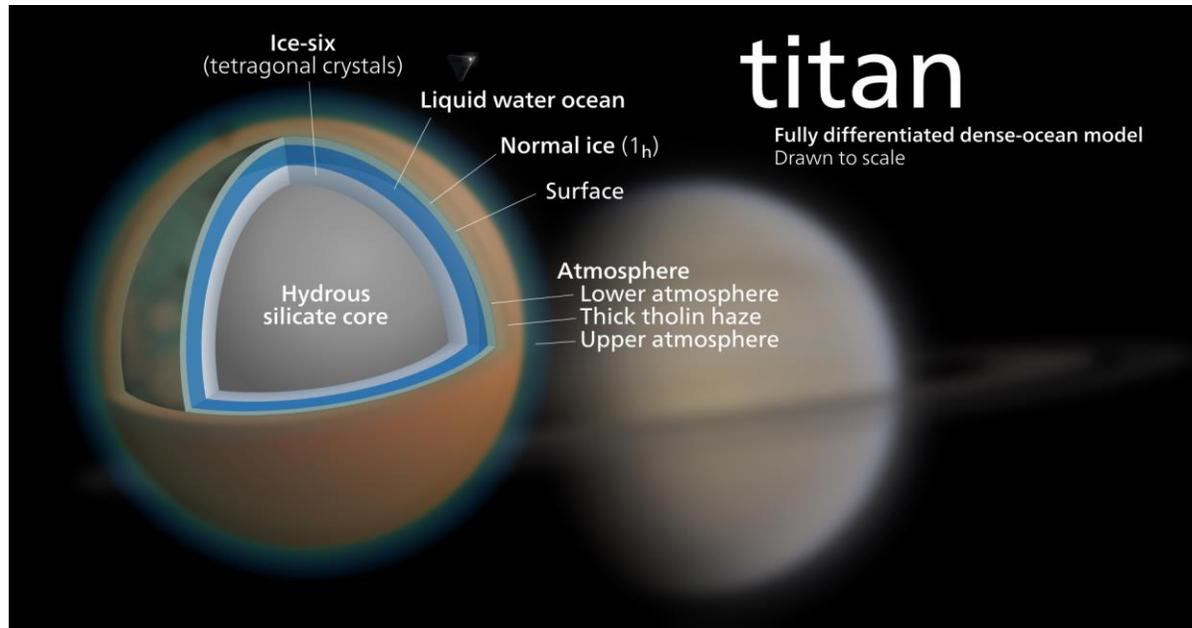
Foto del satellite **Europa**, ricoperto da ghiacci fratturati per migliaia di chilometri.  
(Foto NASA, DLR)



Possibile struttura interna di Europa con un oceano sepolto sotto i ghiacci  
(Immagine NASA)

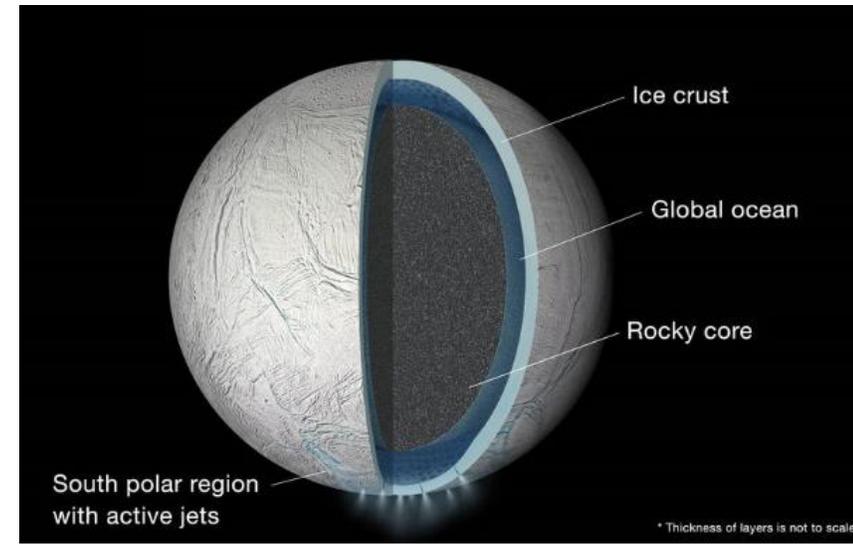
# Oceani nascosti nel Sistema Solare

## TITANO: una delle lune di SATURNO



Al di sotto della crosta di Titano, la maggiore delle lune di Saturno, è presente un oceano sotterraneo di ammoniaca e acqua, come scoperto dalla sonda Cassini-Huygens, una missione congiunta tra NASA, Agenzia Spaziale Europea e Agenzia Spaziale Italiana.

## ENCELADO: una delle lune di SATURNO



- **Corpo celeste ricco di geyser**
- **Totale assenza di ossigeno e luce**
- **Evidenza di attività idrotermale**
- **Intensi gettiti di gas e particelle di ghiaccio eruttano in continuazione dalla regione polare meridionale contribuendo al gigantesco "pennacchio" del pianeta**

# Mari di metano nel Sistema Solare: Titano

Sopra l'oceano di Titano, sulla crosta ghiacciata a  $-179^{\circ}\text{C}$ , esiste un'altra distesa liquida ma fatta di metano ed etano.

L'atmosfera è ricca dei composti organici usati da Miller per il suo esperimento; anche le condizioni sono simili fatta eccezione per le scariche elettriche in quanto sulla superficie del satellite arrivano le radiazioni UV prodotti dal Sole.

