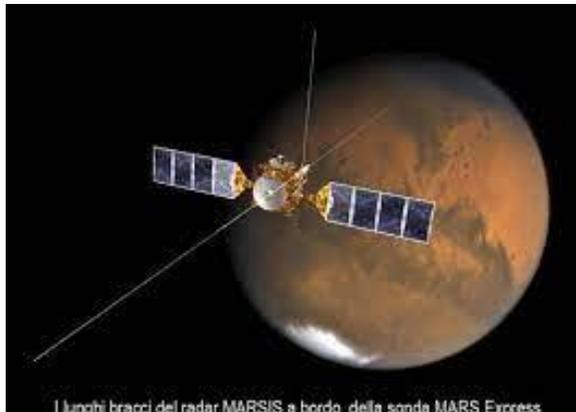




**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**


Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

L'ESPLORAZIONE SPAZIALE A LECCE



Vincenzo Orofino
Gruppo di Astrofisica



PROGETTI SPAZIALI DELL'ESA

con coinvolgimento del DMF di Unisalento

PFS-MEx (*Planetary Fourier Spectrometer*), a bordo della sonda Mars Express, per lo studio della superficie e dell'atmosfera di Marte tramite misure spettroscopiche nell'infrarosso;

PFS-VEx, simile al precedente, ma per lo studio dell'atmosfera di Venere a bordo della sonda Venus Express;

VIRTIS (*Visible and InfraRed Thermal Imaging Spectrometer*), a bordo della sonda Rosetta, per lo studio della cometa Churyumov-Gerasimenko tramite misure spettroscopiche nel visibile e nel vicino infrarosso;

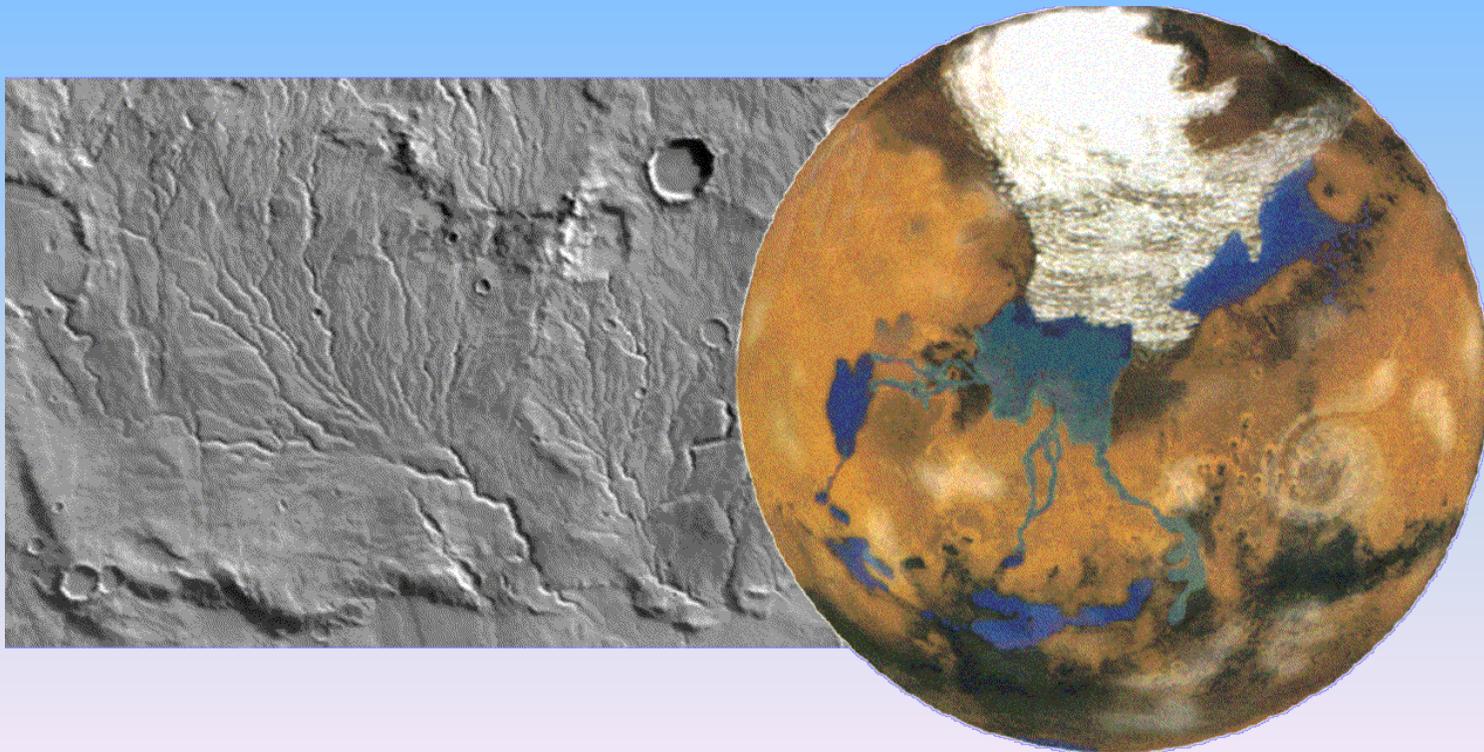
VIRTIS-VEx, simile al precedente ma per lo studio dell'atmosfera di Venere a bordo della sonda Venus Express;

MAJIS (*Moons And Jupiter Imaging Spectrometer*), nell'ambito della missione JUICE per lo studio spettroscopico di tre lune di Giove (Ganimede, Europa e Callisto) probabili sedi di un oceano ghiacciato;

Euclid, per l'individuazione di asteroidi, posti su orbite molto inclinate rispetto all'eclittica, che rivestono grande importanza per gli studi sull'evoluzione dinamica del Sistema Solare.

L'ESPLORAZIONE SPAZIALE A LECCE

PARTE I: IL PIANETA MARTE E LA MISSIONE MARS EXPRESS



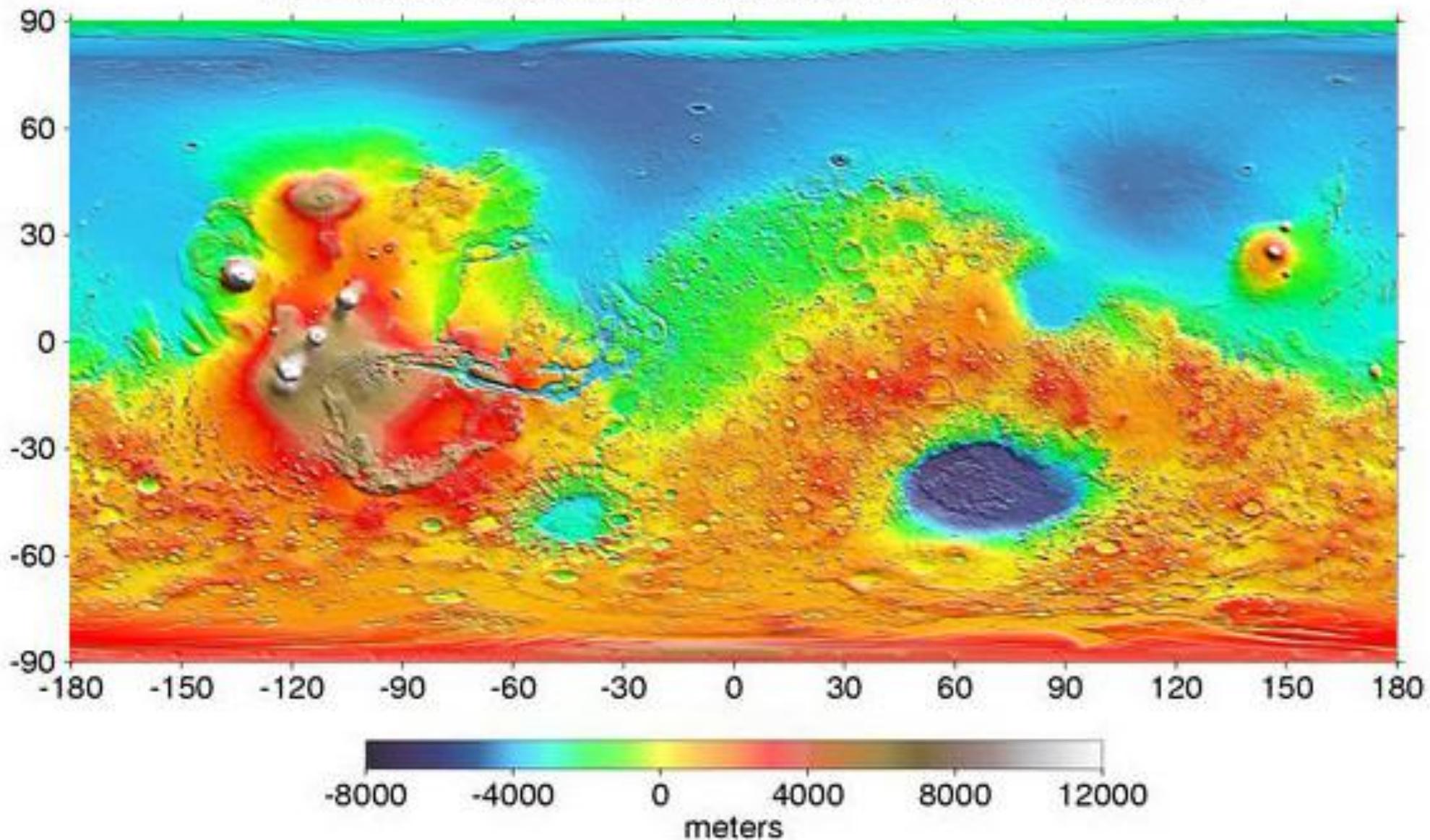
Marte osservato dall'Hubble Space Telescope





THE TOPOGRAPHY OF MARS

BY THE MARS ORBITER LASER ALTIMETER (MOLA)



CONDIZIONI CLIMATICHE ATTUALI

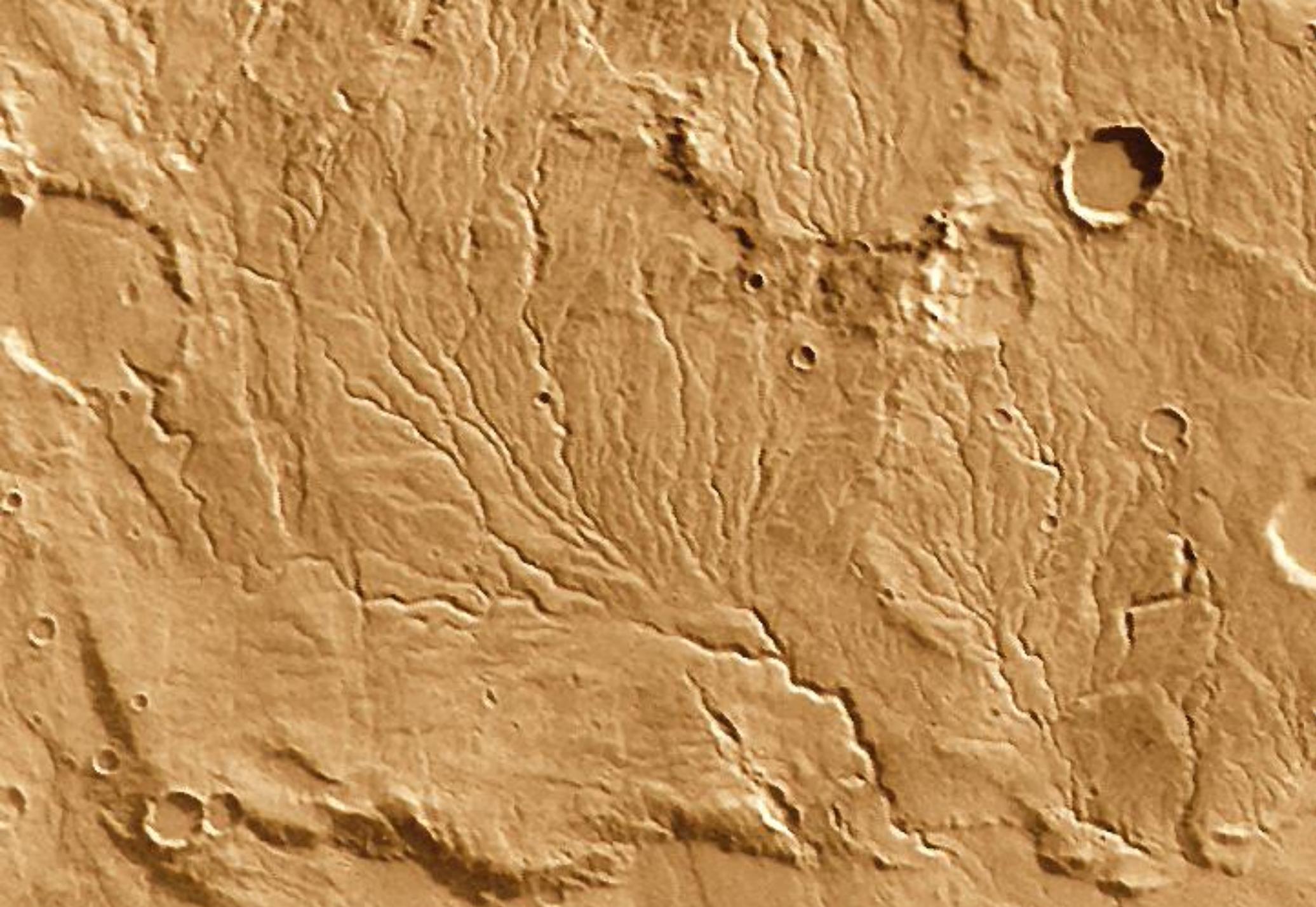
- Temperatura superficiale media globale: -60°C
- Pressione atmosferica al suolo (95% CO_2): 7 mbar
- Pressione parziale del vapor acqueo: 0.002 mbar

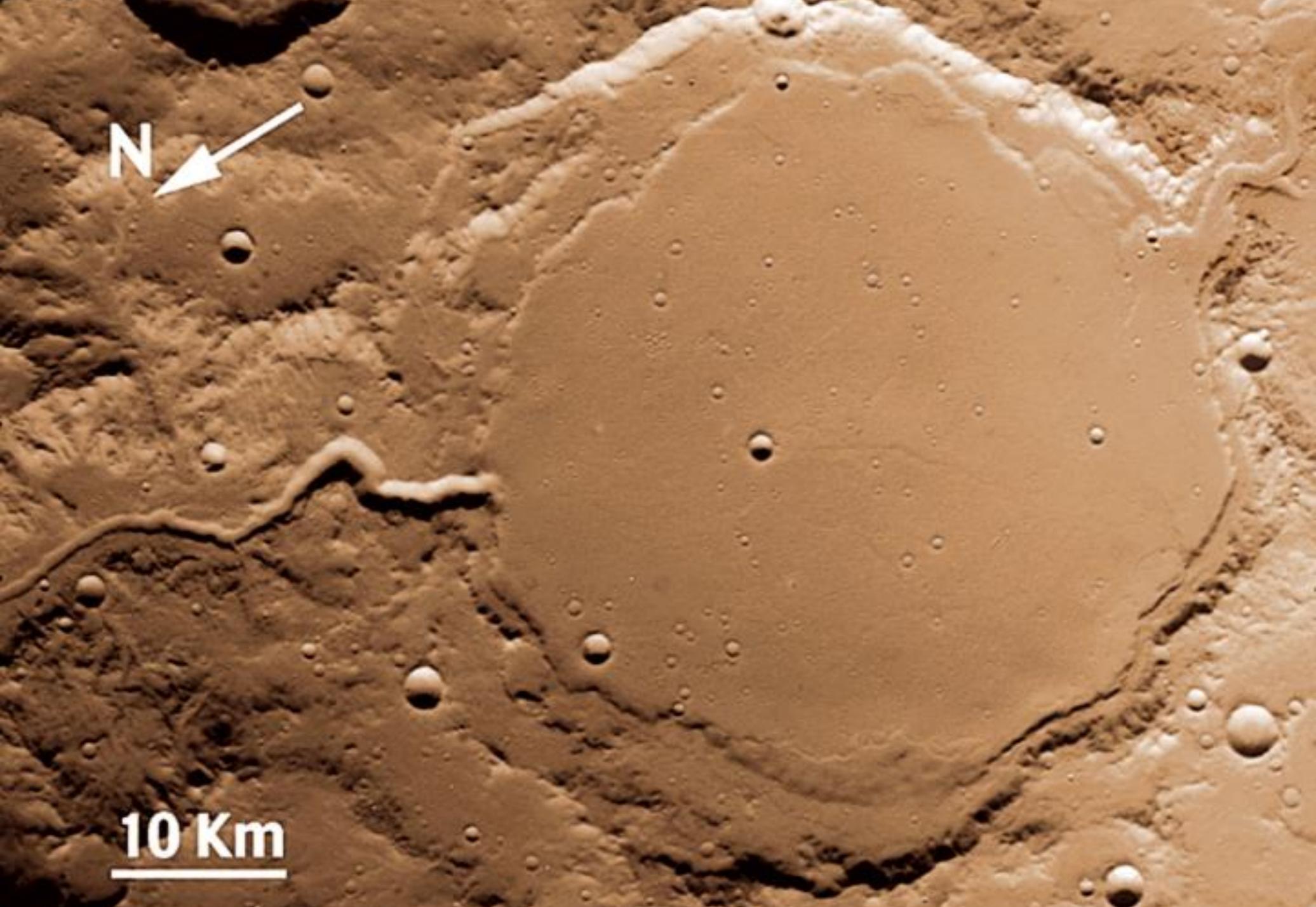


- Precipitazioni (pioggia o neve impossibili).
- Acqua allo stato liquido instabile in superficie (solidifica e poi sublima molto rapidamente); suolo molto secco.

– **CONDIZIONI CLIMATICHE ATTUALI:**
Marte gelido deserto.

– **CONDIZIONI CLIMATICHE PASSATE:**
Temperatura superficiale e pressione
atmosferica al suolo sufficientemente alte da
permettere la presenza di acqua allo stato
liquido?

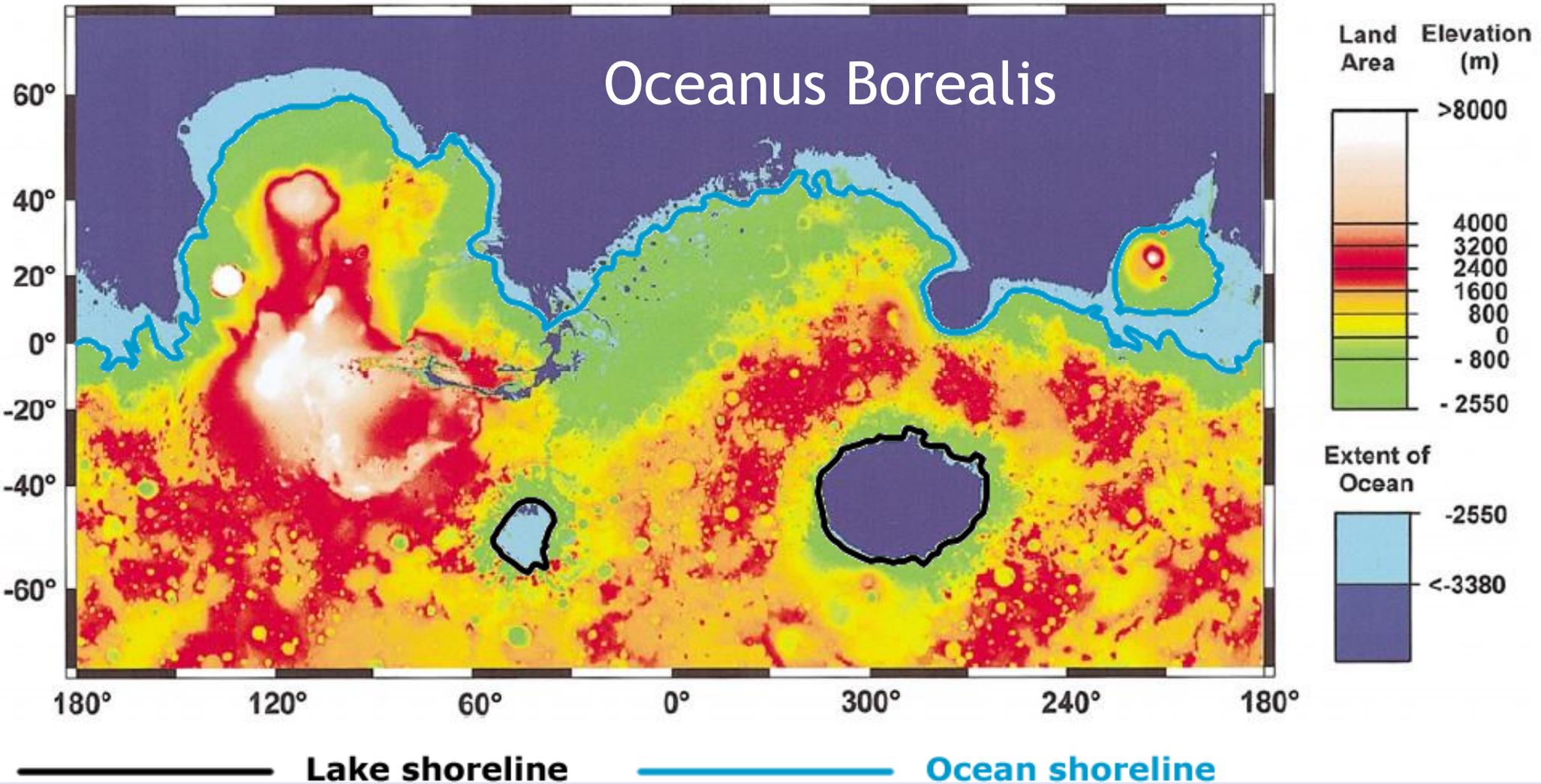




N

10 Km

Oceanus Borealis



DESTINO FINALE DELLE ACQUE DELL'OCEANUS BOREALIS

- Evaporazione con fuga nello spazio e parziale deposizione ai poli (sotto forma di ghiaccio).
- Infiltrazione nel sottosuolo, con successivo intrappolamento nel *permafrost*
- Congelamento sul posto sotto uno strato protettivo di sabbia e polvere (contro la sublimazione).

Riepilogo indizi geologici:

- Presenza di parecchi canali, ossia solchi incisi nel terreno che sembrano essersi formati nel passato per l'attività di qualche tipo di acqua corrente.
- Presenza di bacini di aspetto paleolacustre.
- Presenza di bassipiani probabilmente occupati da un antico oceano marziano (*Oceanus Borealis*).

Suggerimento da tutti gli indizi di varia natura:

grandi quantità di acqua liquida presenti nel passato su Marte e quindi (stante l'estrema instabilità attuale) clima passato completamente diverso da quello odierno.

EVOLUZIONE CLIMATICA DEL PIANETA

Primo miliardo di anni ($-4.6 \text{ Ga} \leq t \leq -3.5 \text{ Ga}$):

Atmosfera densa

attività vulcanica in grado di compensare le perdite di CO_2
dovute alla fuga verso lo spazio



Effetto serra rilevante

superficie riscaldata oltre il punto di fusione del ghiaccio



Condizioni climatiche relativamente calde ed umide

Periodi successivi ($t > -3.5$ Ga):

Atmosfera rarefatta

ridotta attività vulcanica non più in grado di compensare le perdite di CO₂



Effetto serra insufficiente



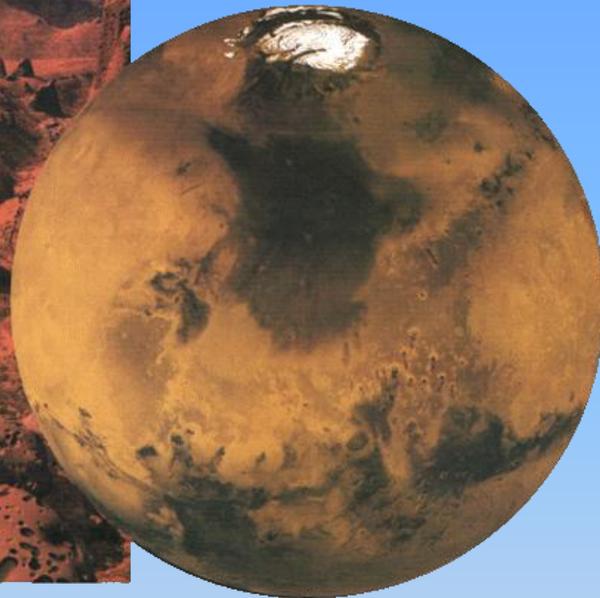
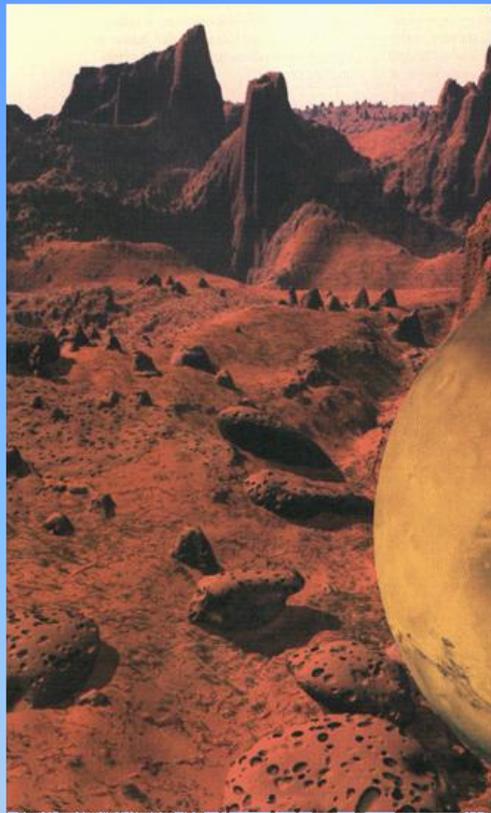
Condizioni climatiche fredde e secche

Così Marte si è mantenuto fino ai giorni nostri, a parte però degli importanti episodi di clima relativamente mite, sia pure brevi ($\Delta t < 1 \text{ Ma}$) e isolati.

PROBABILI CAUSE DEL TEMPORANEO RITORNO DEL CLIMA TEMPERATO

Variazioni di:

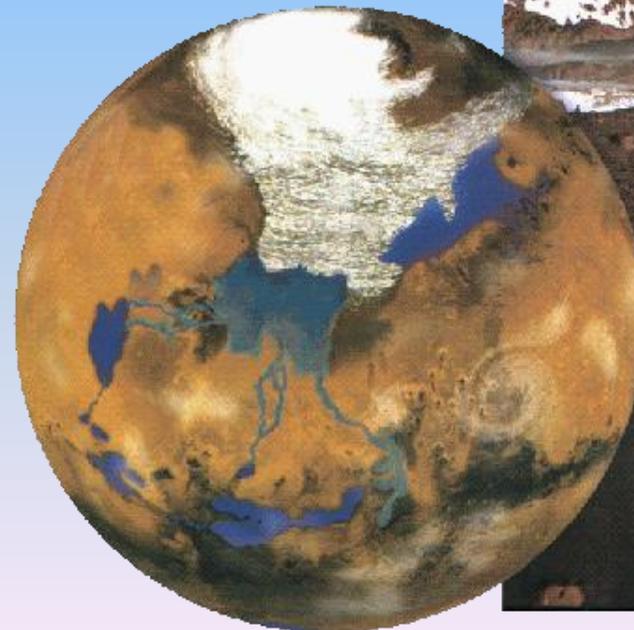
- Attività vulcanica
- Inclinazione dell'asse di rotazione (*obliquità*)
- Parametri orbitali (in particolare eccentricità)
- Potere riflettente delle calotte polari
- Luminosità solare



Marte ieri?



Marte oggi



IPOTESI ALTERNATIVA

Clima marziano sempre simile all'attuale

Origine dei canali:

cedimento strutturale del terreno dovuto a sorgenti idrotermali

Origine delle terrazze:

non erosionale (ad es. sovrapposizione di strati di lava solidificata)

Interpretazione delle analisi fisico-chimiche:

risultati non incompatibili con la passata esistenza sul pianeta di moderate quantità di acqua liquida per brevi periodi di tempo

CONCLUSIONE:

la storia climatica del pianeta rimane ancora incerta.

Carbonati e Argille: sostanze molto diffuse sulla Terra dove spesso danno origine a depositi presenti in forma compatta (rocce) o incoerente (sabbie) sul fondo dei laghi e dei mari.



Calcite - Carbonato di calcio



Deposito di argilla

IMPORTANZA DEI CARBONATI E DELLE ARGILLE

Presenza di depositi carbonatici e/o argillosi in particolari aree marziane (depressioni o crateri d'impatto).

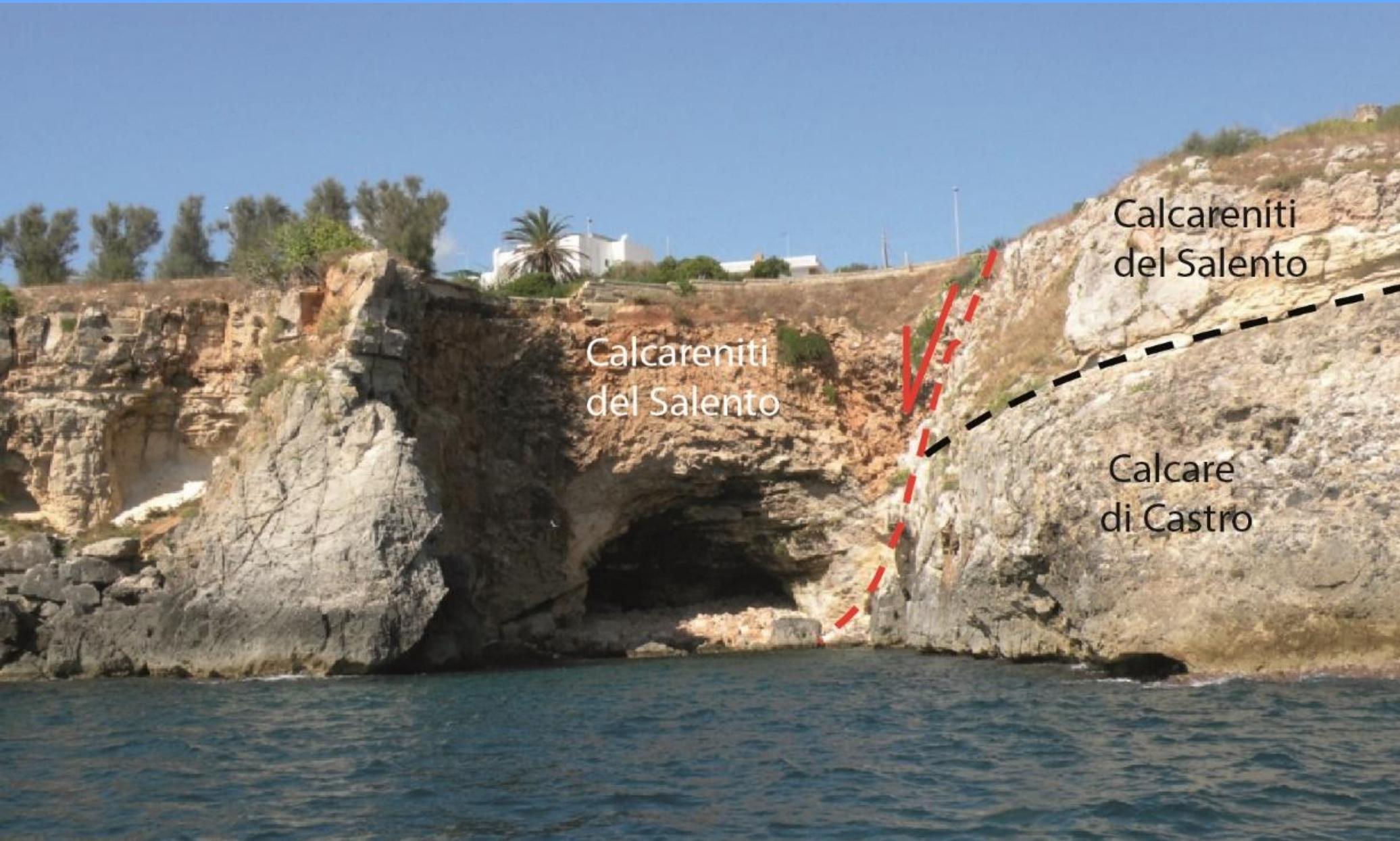


Antica e duratura presenza d'acqua liquida in tali aree (questi depositi, per aver origine, hanno bisogno di un ambiente acquoso in cui avvenga la lenta formazione dei carbonati e delle argille).



Paleoclima di Marte molto diverso da quello attuale e in grado di permettere la stabilità dell'acqua allo stato liquido.

ROCCE CARBONATICHE NEL SALENTO







2,5 milioni di anni



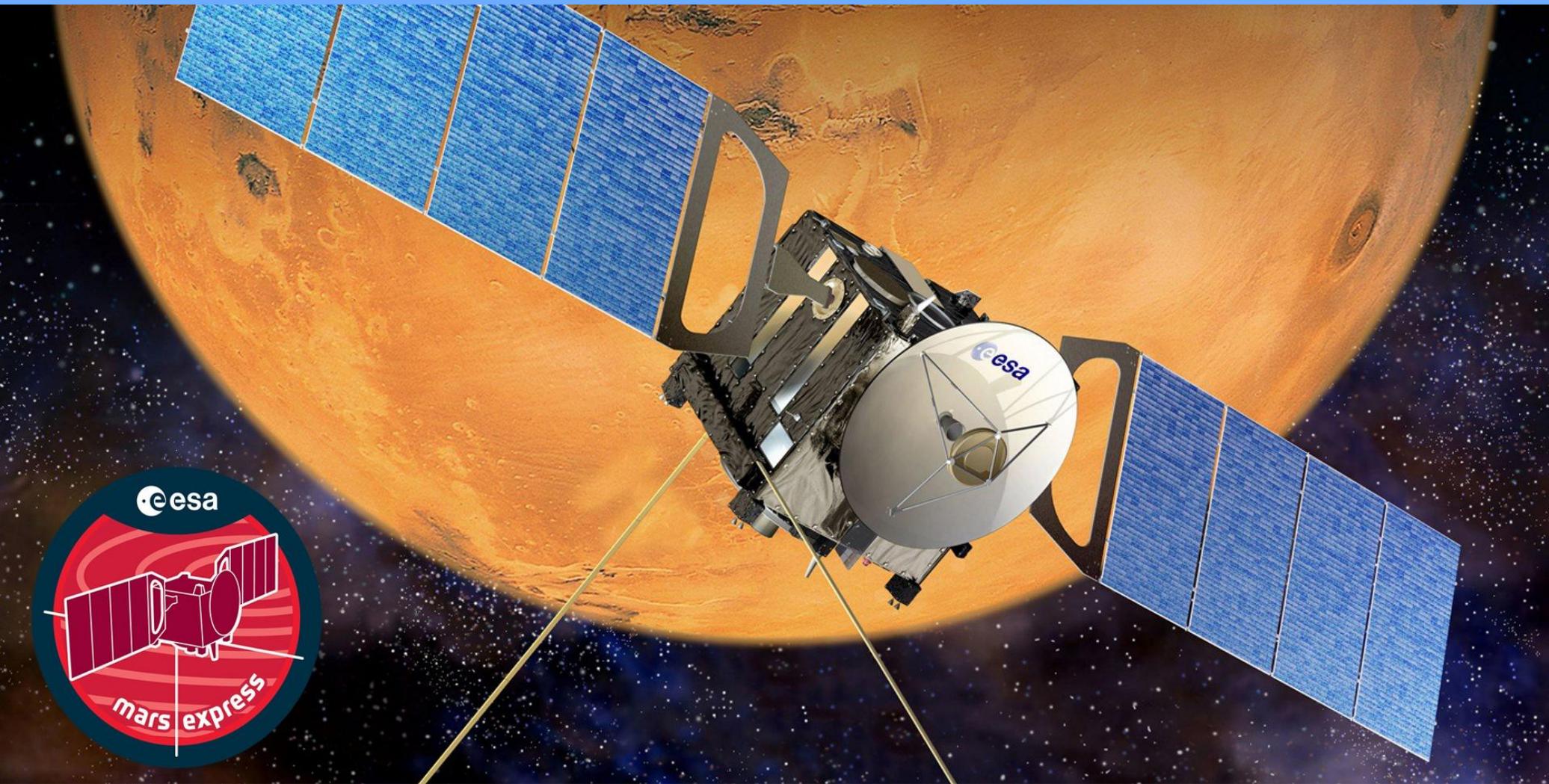
1,5 milioni di anni

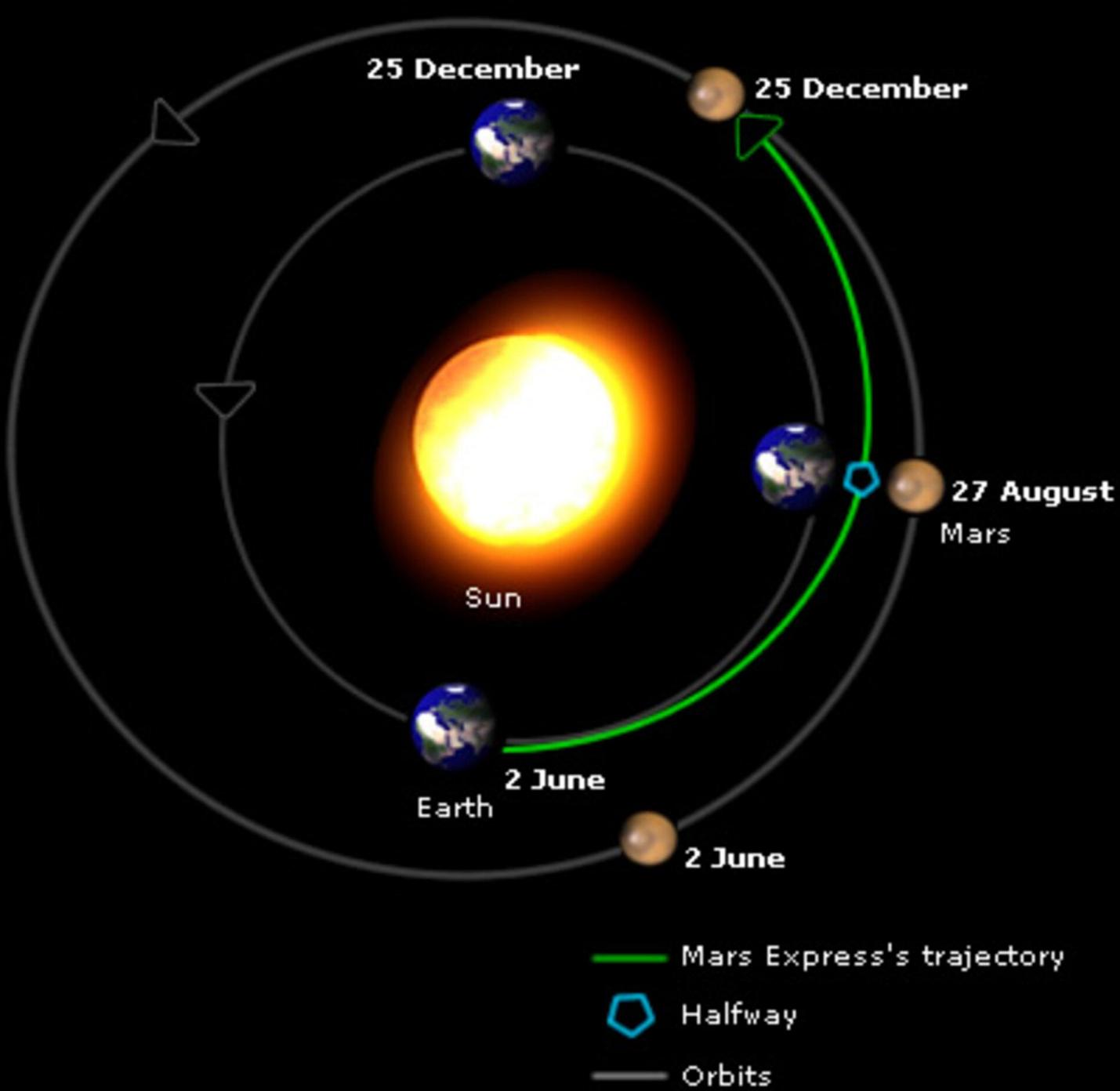


0,8 milioni di anni



LA MISSIONE MARS EXPRESS

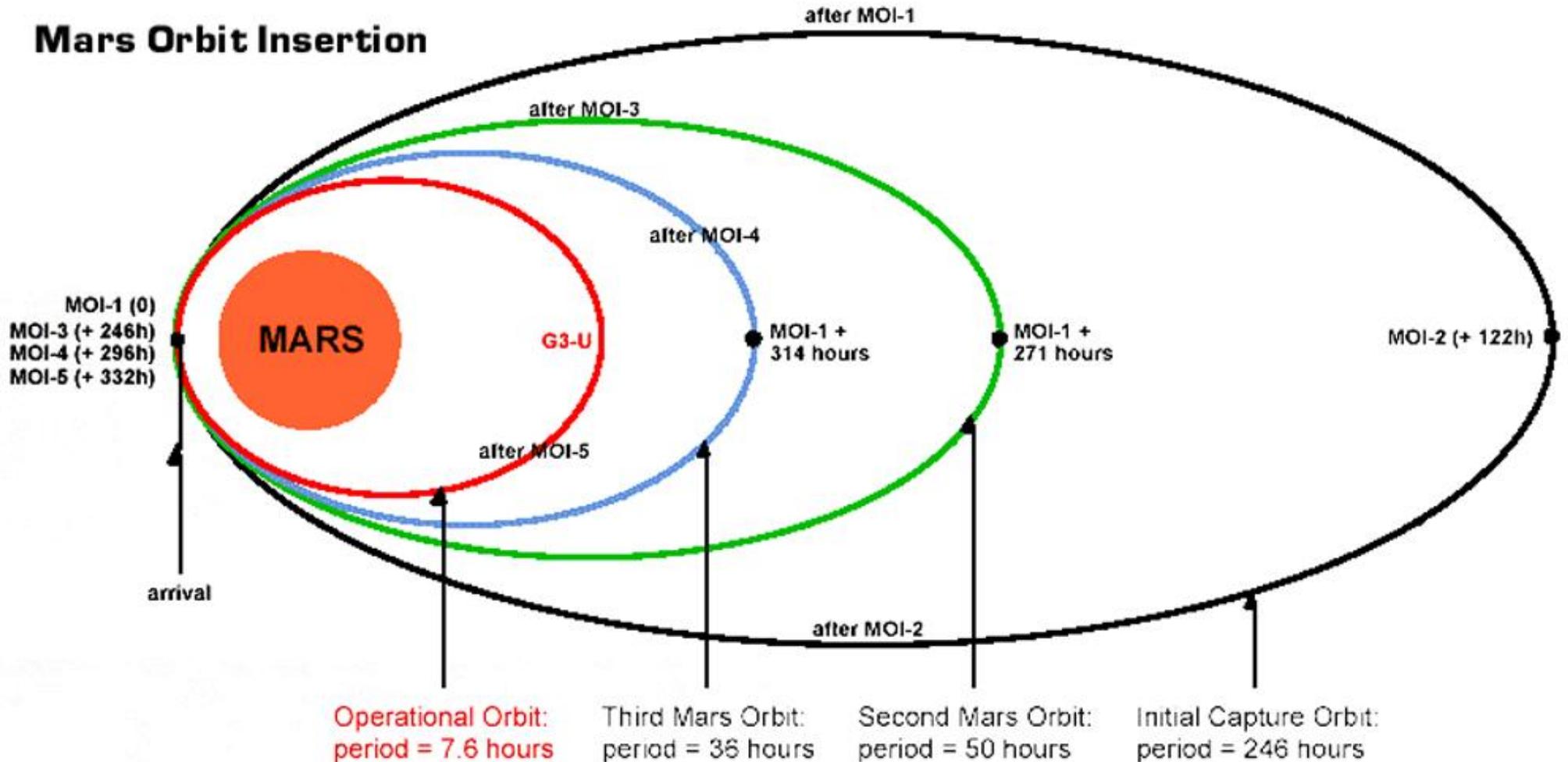




Traiettoria di
trasferimento
verso Marte
(2003)

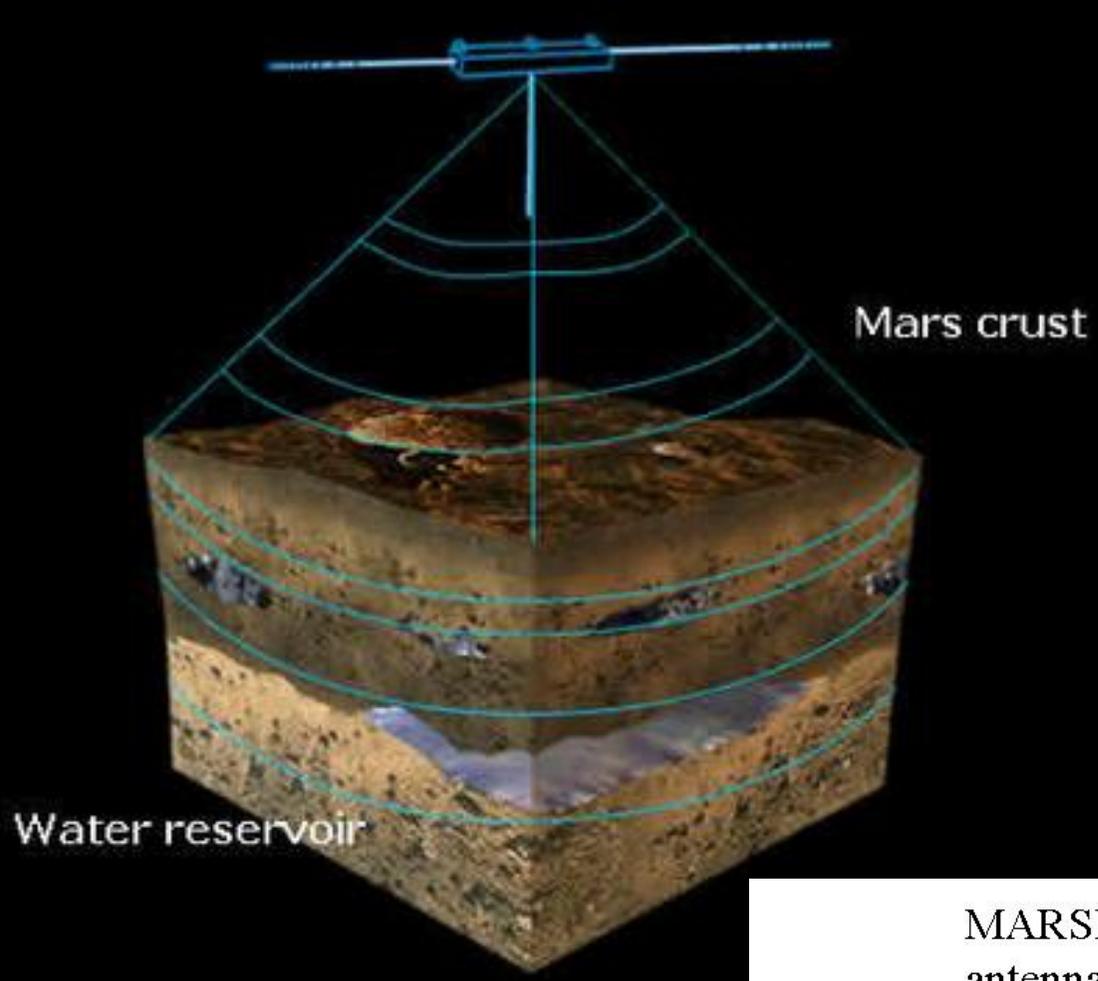
Cattura ed immissione nell'orbita finale

Mars Orbit Insertion

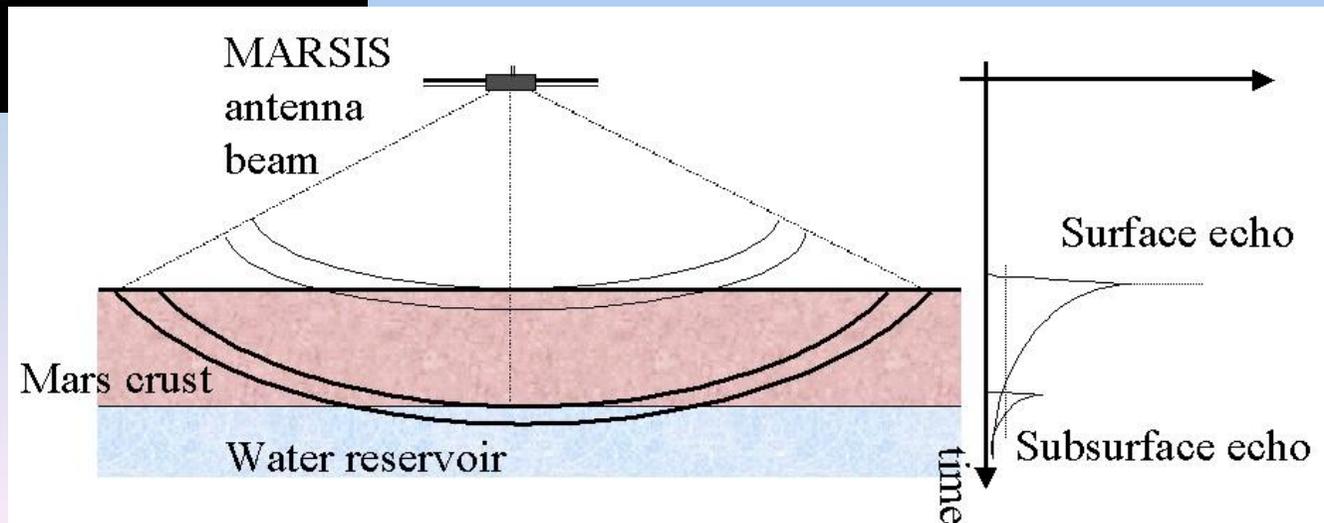


PRINCIPALI RISULTATI DELLA MISSIONE

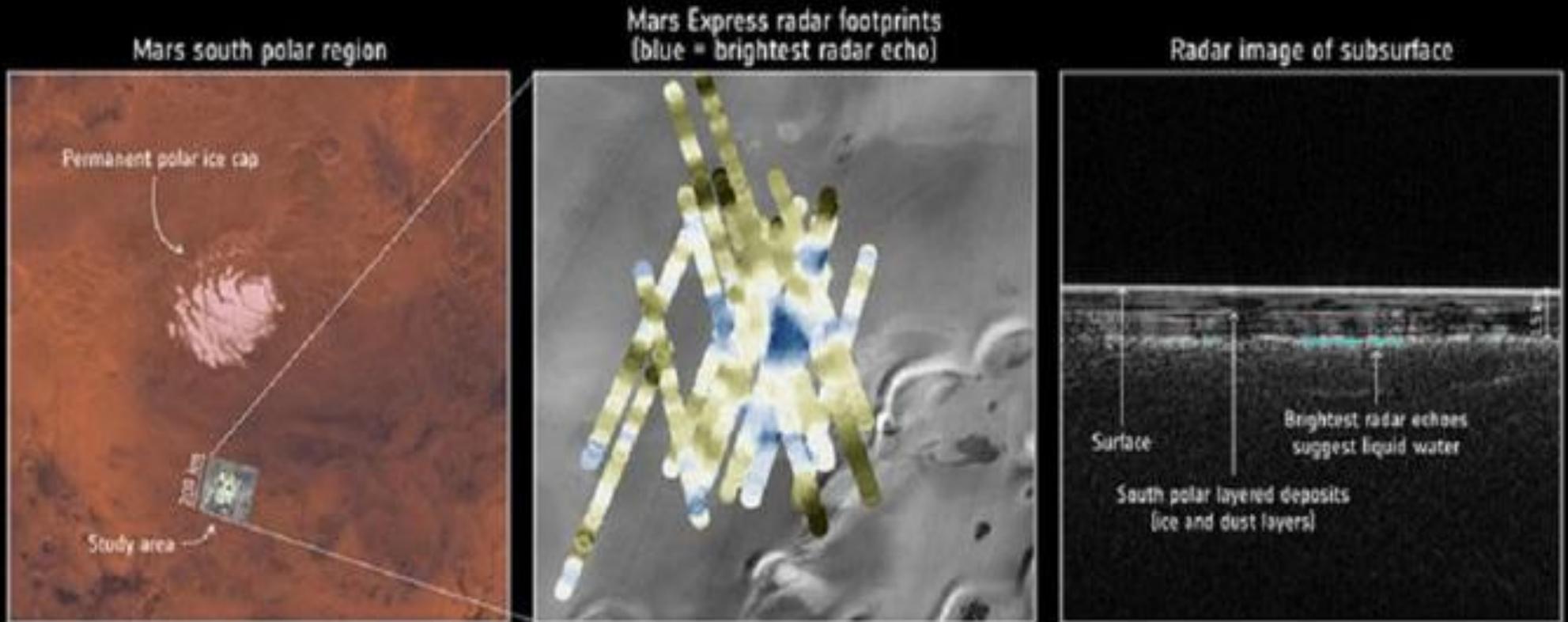
- Realizzazione di una mappa fotografica globale ad alta risoluzione (10 m per pixel) per studi geologici e topografici.
- Individuazione delle nubi più alte mai viste sopra qualsiasi superficie planetaria (visibili fino a quote di a 100 km).
- Scoperta di attività vulcanica recente (meno di 2 Ma di anni fa).
- Individuazione e mappatura del metano nell'atmosfera marziana.
- Perfezionamento delle conoscenze astrometriche di Phobos (osservato da una distanza minima di 115 km) e sulla sua morfologia superficiale.



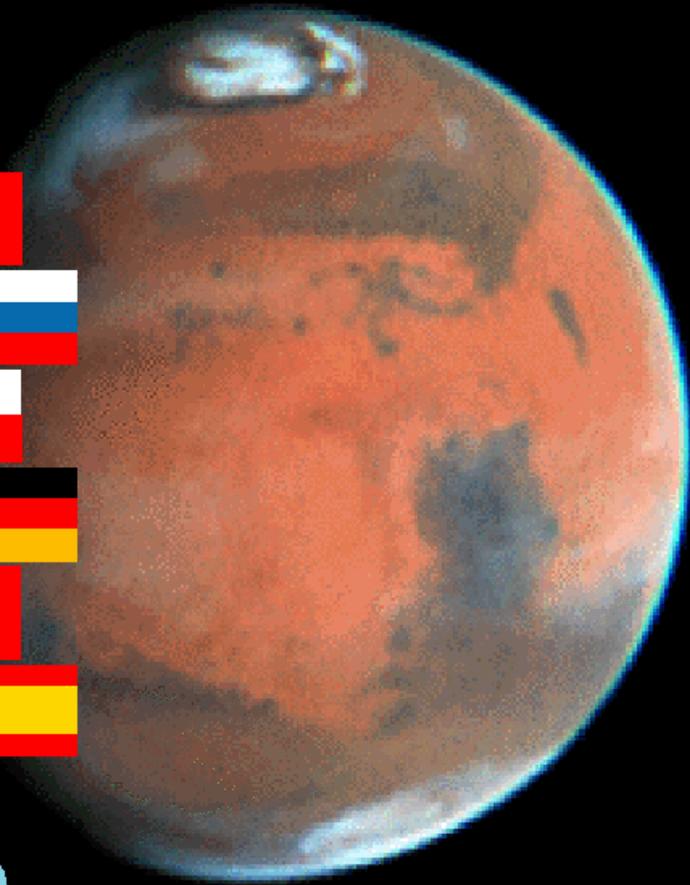
Nuovi risultati dal radar MARSIS a bordo della sonda Mars Express



Orosei R, et al. (2018) *Icarus*, **200**, 426



Lago sotterraneo vicino al Polo Sud



Mars Express

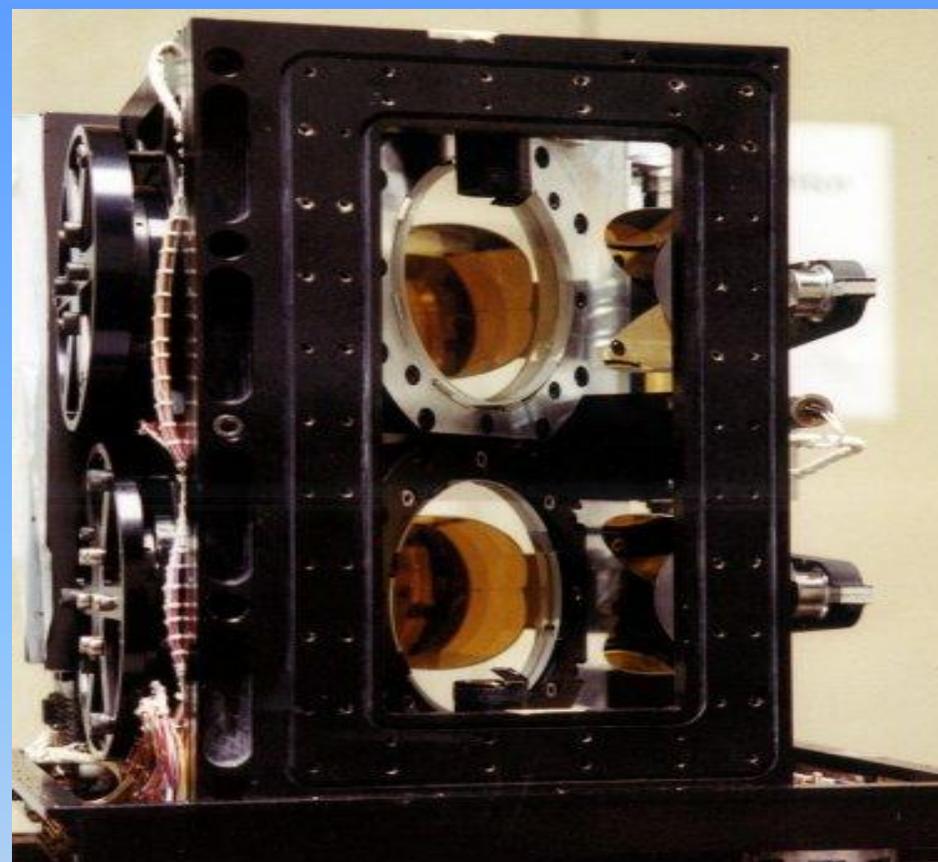
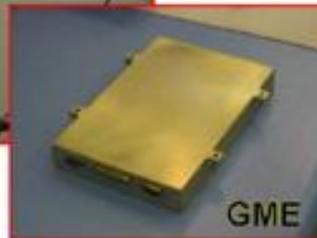
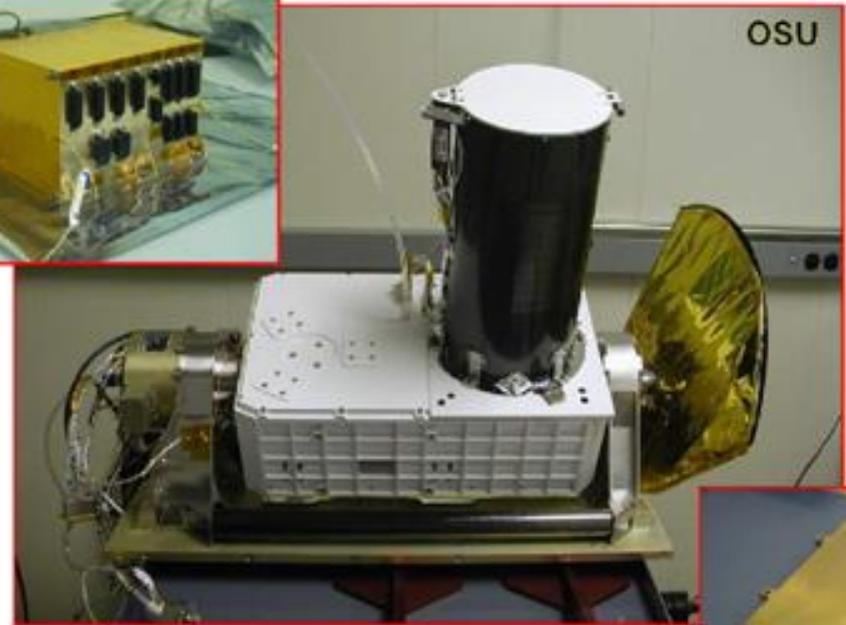
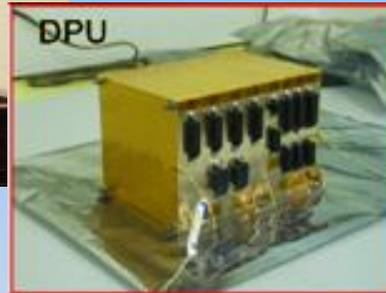
Planetary Fourier
Spectrometer
PFS



Lo spettrometro CRISM
(NASA - Mars Reconnaissance
Orbiter)



Lo spettrometro PFS
(ESA - Mars Express)



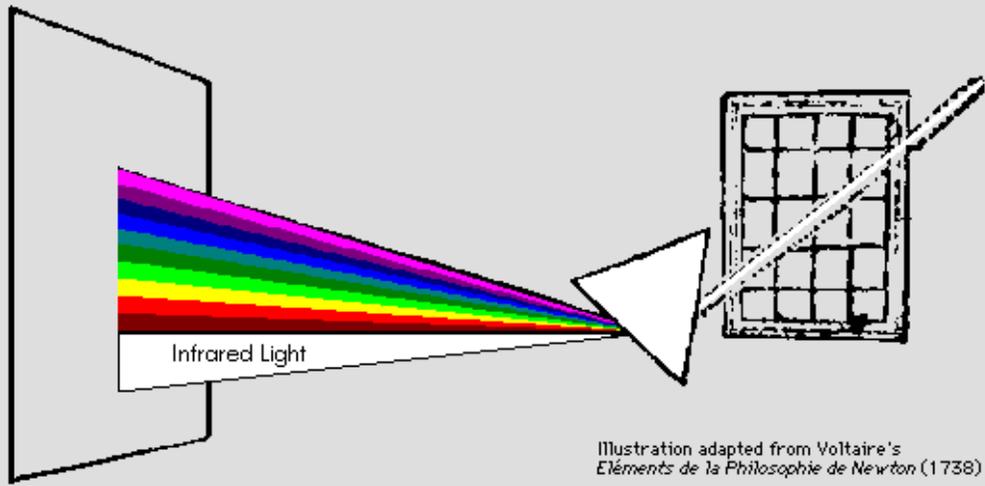
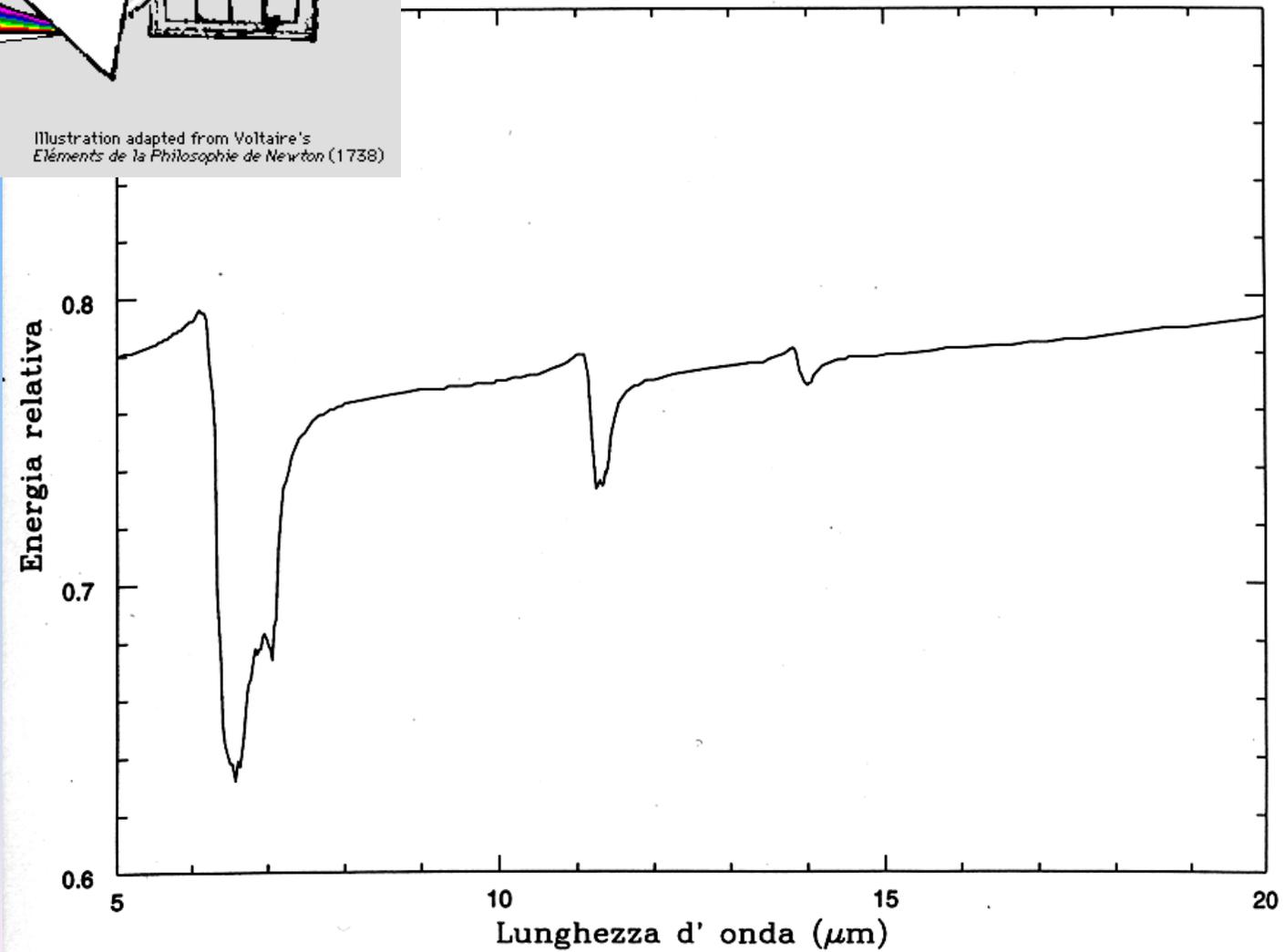
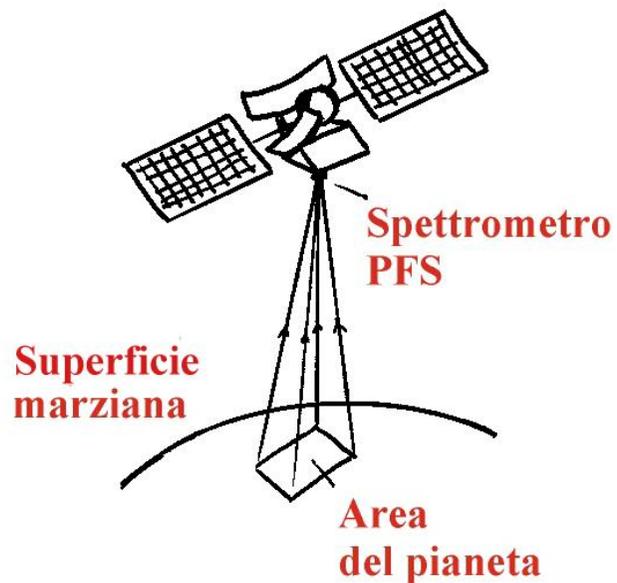


Illustration adapted from Voltaire's *Eléments de la Philosophie de Newton* (1738)



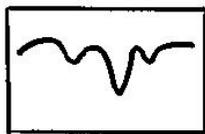
NELLO SPAZIO



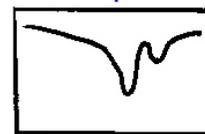
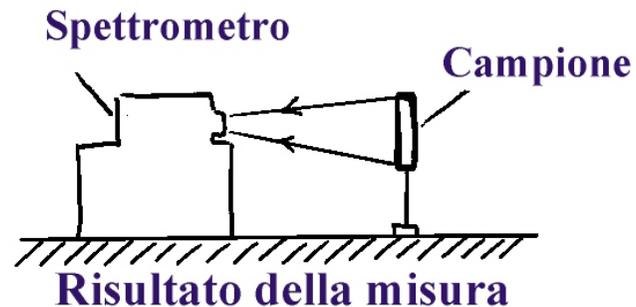
Risultato della misura



Spettro



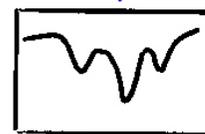
IN LABORATORIO



Elaborazione al computer



Risultato dell'elaborazione



Spettro

Confronto

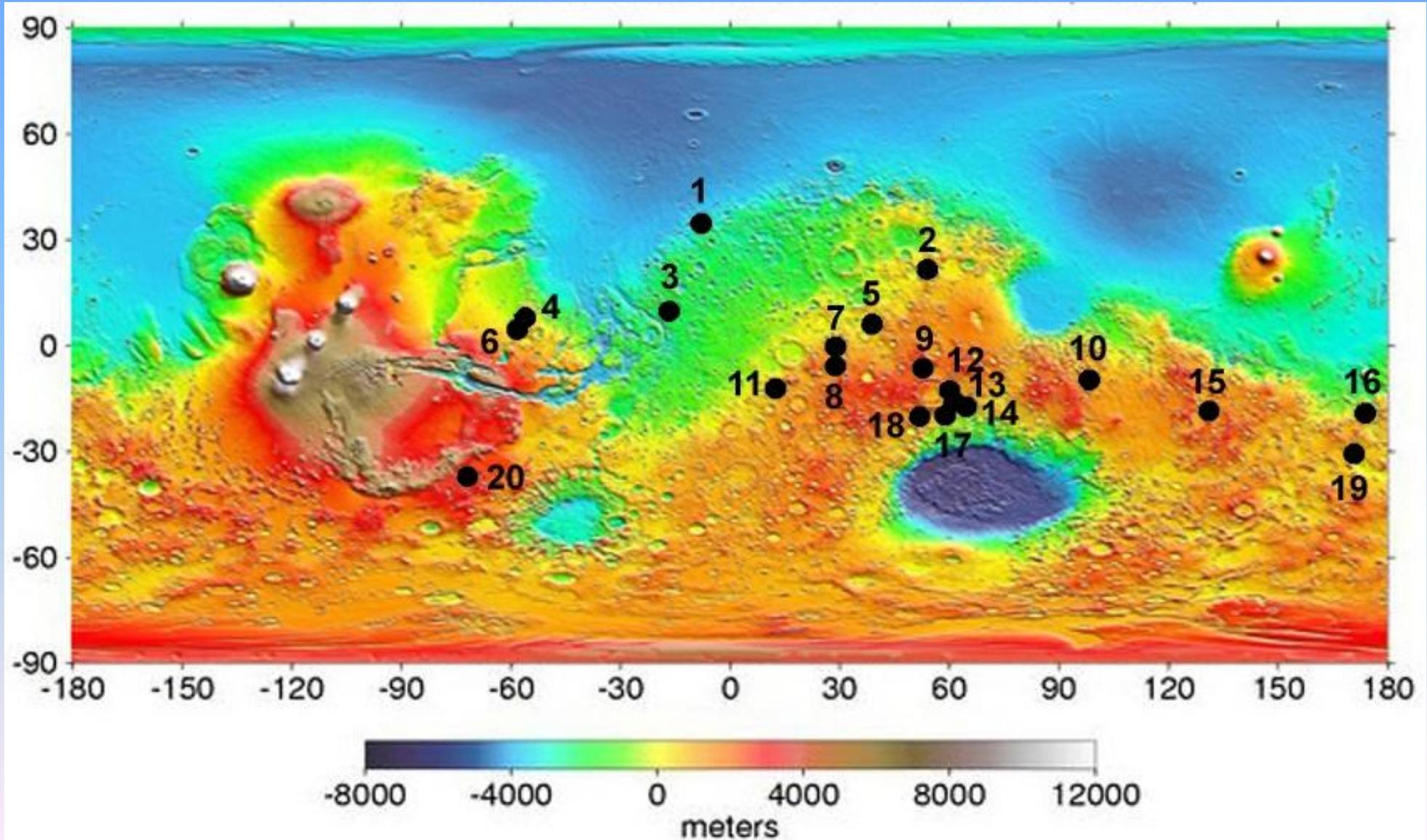


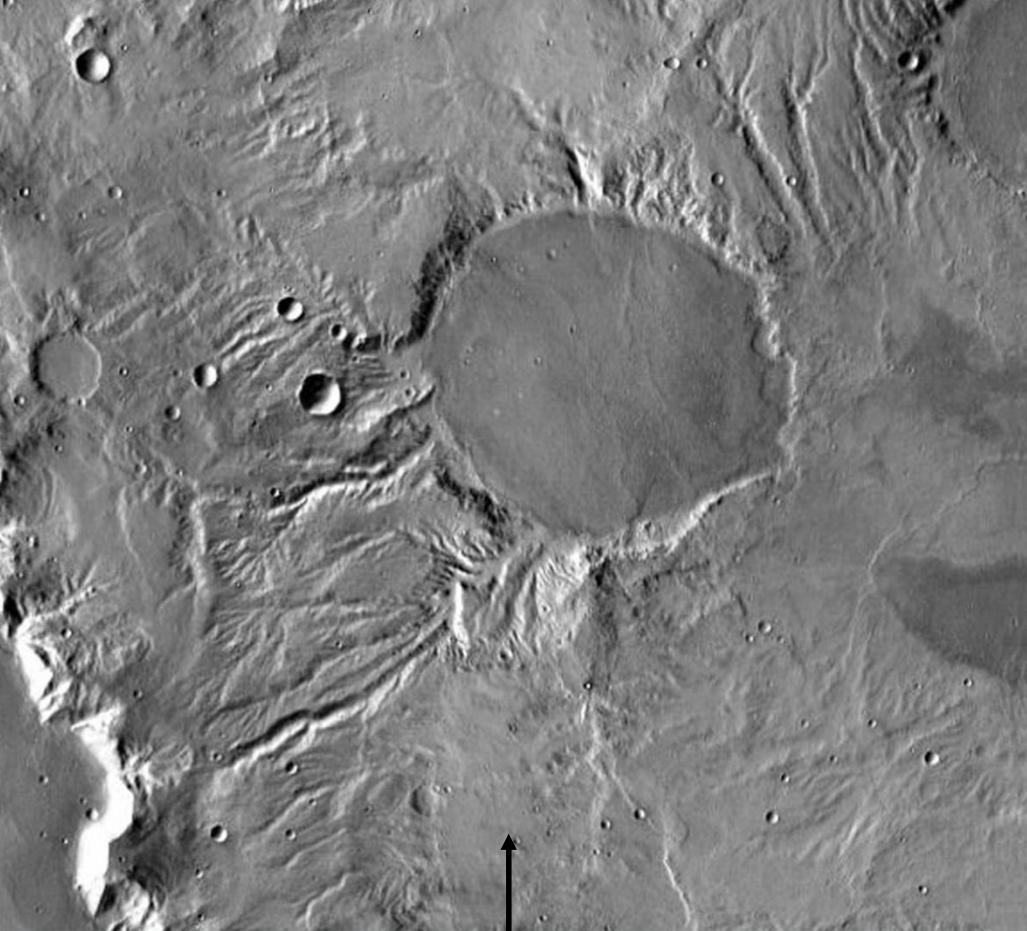
LINEE DI RICERCA A LECCE

- Progettazione e realizzazione dello spettrometro PFS
- Ricerca di aree marziane che sembrano più promettenti per l'individuazione di depositi paleolacustri
- Analisi spettrale in laboratorio di carbonati ed argille in varie condizioni fisiche
- Confronto degli spettri sintetici (ottenuti dai dati sperimentali tramite modelli di trasporto radiativo) con gli spettri delle aree marziane da noi selezionate, ottenuti dal PFS e soprattutto dal CRISM

Posizione dei siti sulla superficie marziana

Orofino V., et al. (2009) *Icarus*, **200**, 426

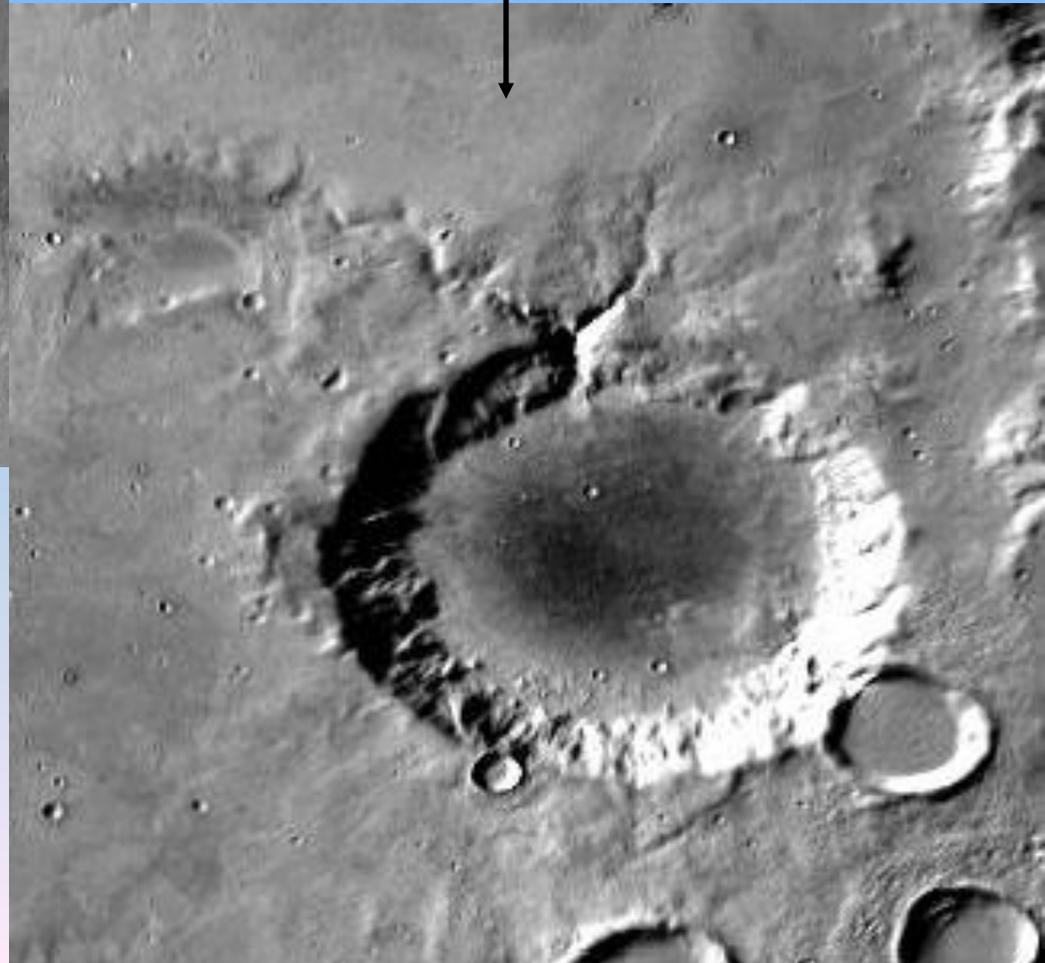
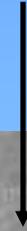




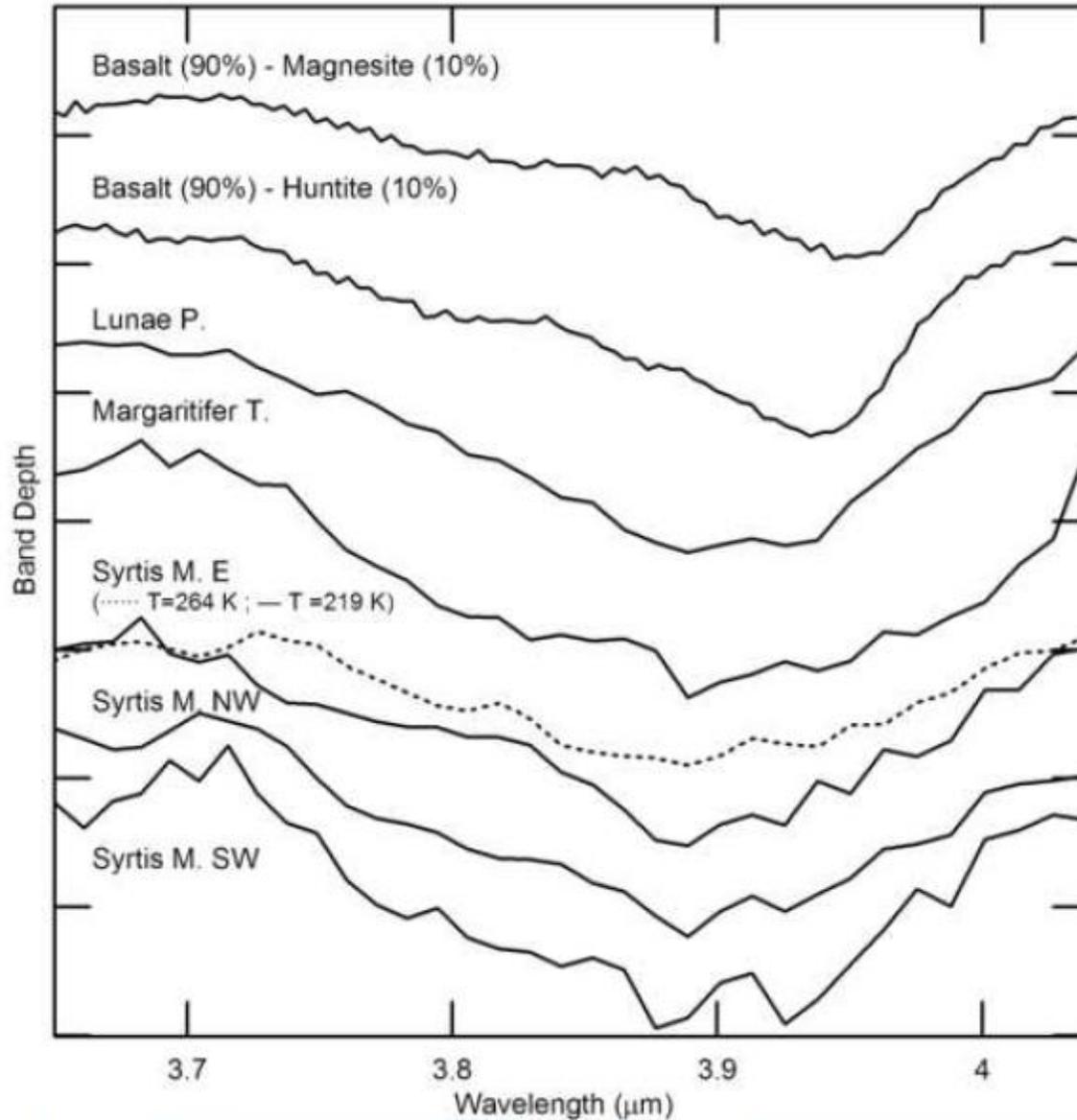
Sito N.12 – Sistema complesso



Sito N.20 – Sistema semplice

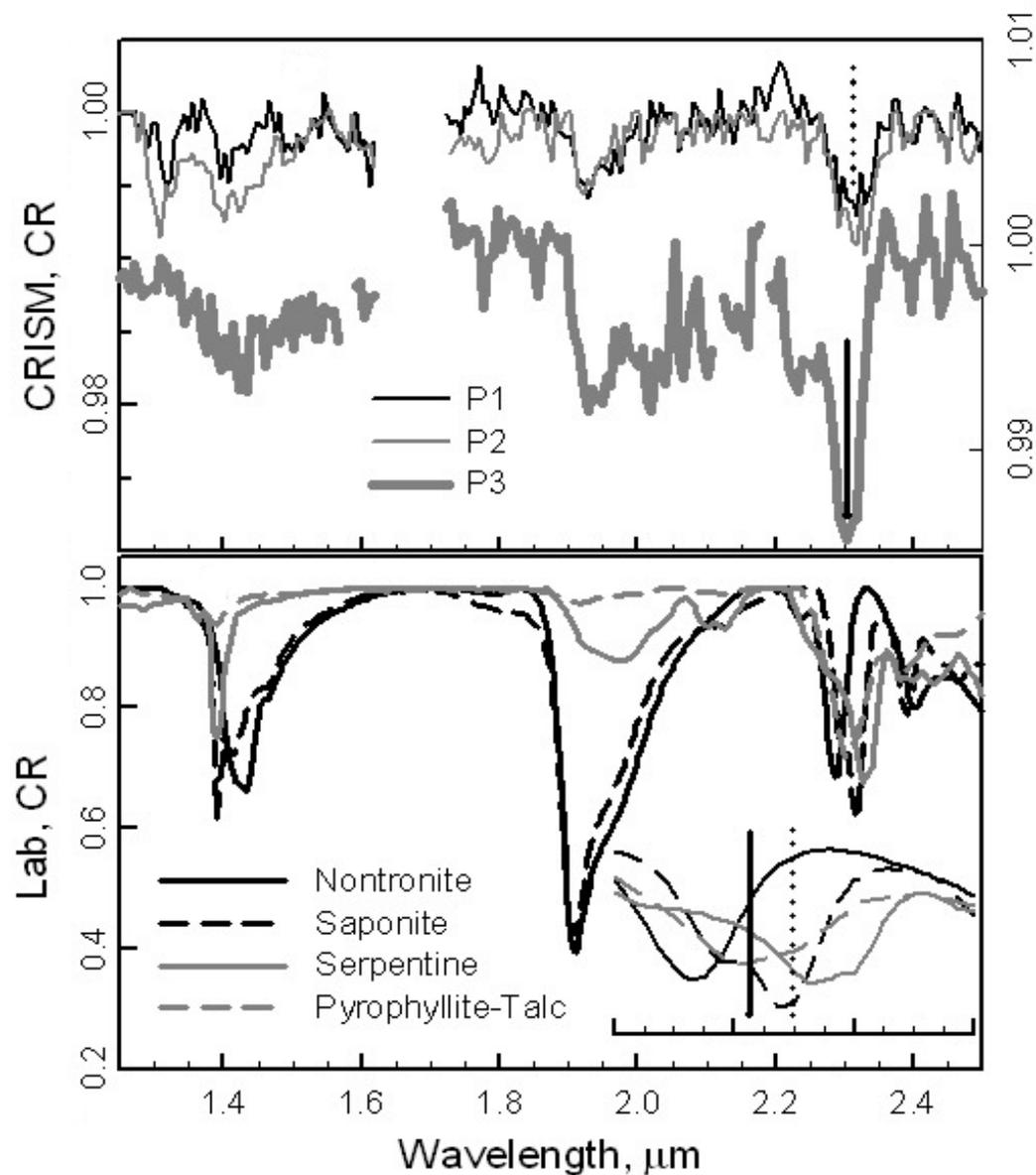


POSSIBILE PRESENZA DI CARBONATI IN GRANDI AREE DEL PIANETA



Palomba E., et al.
(2009) *Icarus*, **203**, 58

RISULTATI RELATIVI AI SITI 12 E 20



Roush, T.L., et al. (2011), *Icarus*, **214**, 240

Le bande a 1.4, 1.9 e 2.3 μm micron sono visibili negli spettri CRISM.



Nelle aree esaminate sono presenti depositi argillosi

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Nei due siti analizzati era un tempo effettivamente presente acqua allo stato liquido per un tempo abbastanza lungo da permettere la formazione dei depositi argillosi (incerte però le modalità di formazione).

Risultati simili ottenuti per altri bacini da altri autori confermano questa conclusione.

Tali risultati sono destinati ad avere implicazioni molto importanti sul paleoclima marziano e sulla possibilità di vita sul pianeta.

FORMAZIONE DEI CARBONATI

- 1) Formazione di ioni HCO_3^- all'interno della soluzione di $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- 2a) Dissolvimento delle rocce $\Rightarrow \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}, \text{Fe}^{++}, \text{ecc.}$ entrano in soluzione
- 2b) Dissociazione dell' $\text{HCO}_3^- \Rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{--}$
- 3) $\text{Ca}^{++} + \text{CO}_3^{--} \rightarrow \text{CaCO}_3$