



Credit: Lunar and Planetary Institute

ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA – OSSERVATORIO ASTROFISICO DI TORINO

SISTEMA SOLARE: PIANETI INTERNI

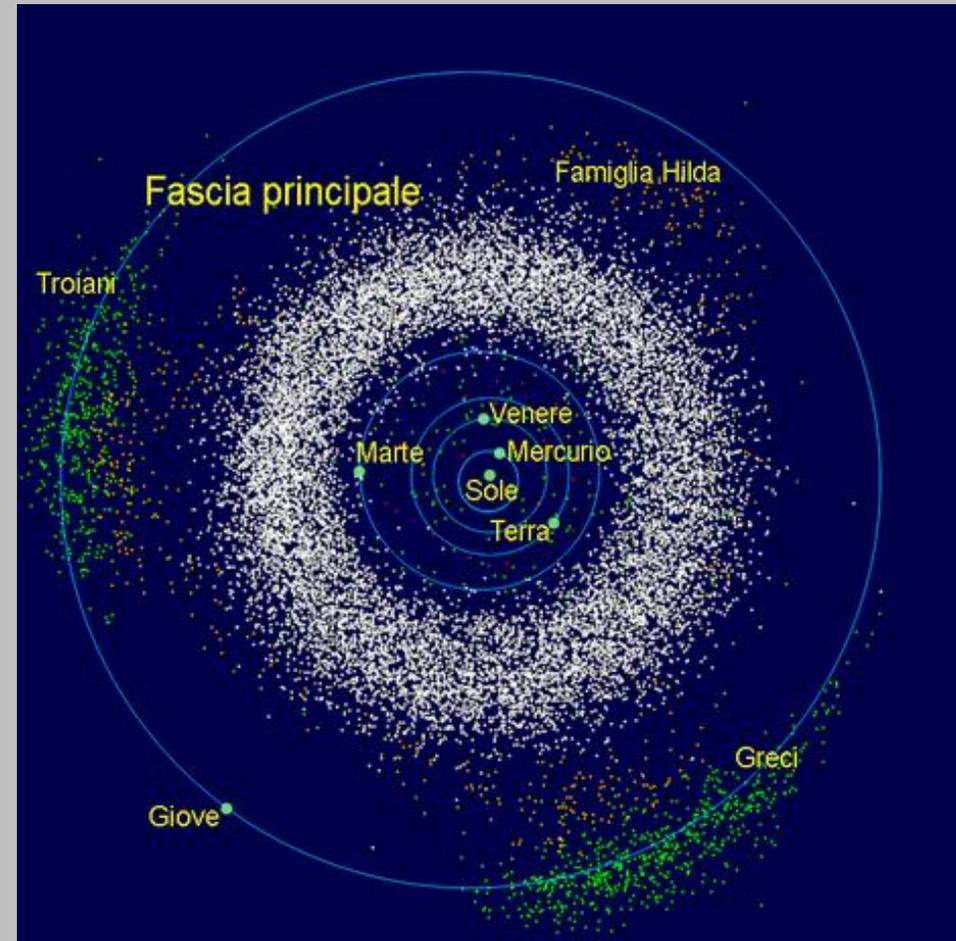
CORSO DI FORMAZIONE DI ASTRONOMIA E ASTROFISICA

PER DOCENTI DI SCUOLA SECONDARIA

ANNO 2019-2020 - CICLO 1

INDICE DEGLI ARGOMENTI TRATTATI

- Mercurio
- Venere
- Marte



SIMILARITÀ E DIFFERENZE TRA PIANETI INTERNI

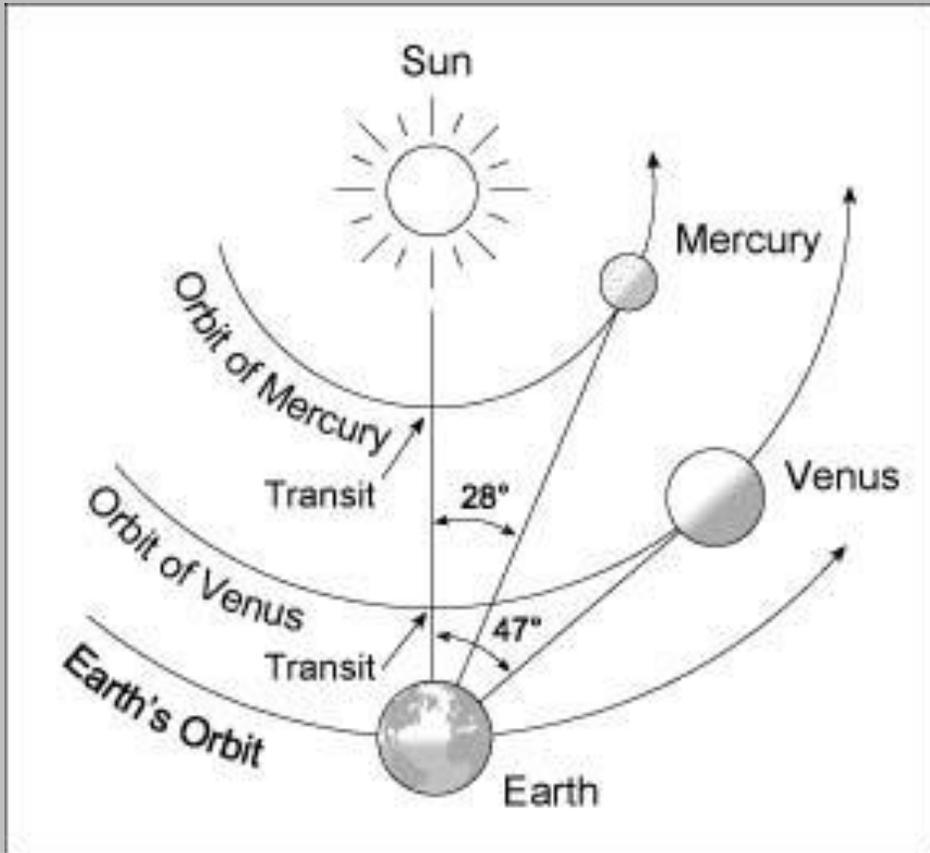
Cosa hanno in comune i pianeti interni:

- Rocciosi.
- La distanza media dal Sole.
- Le dimensioni.
- La densità media.
- La struttura interna.

Le principali differenze:

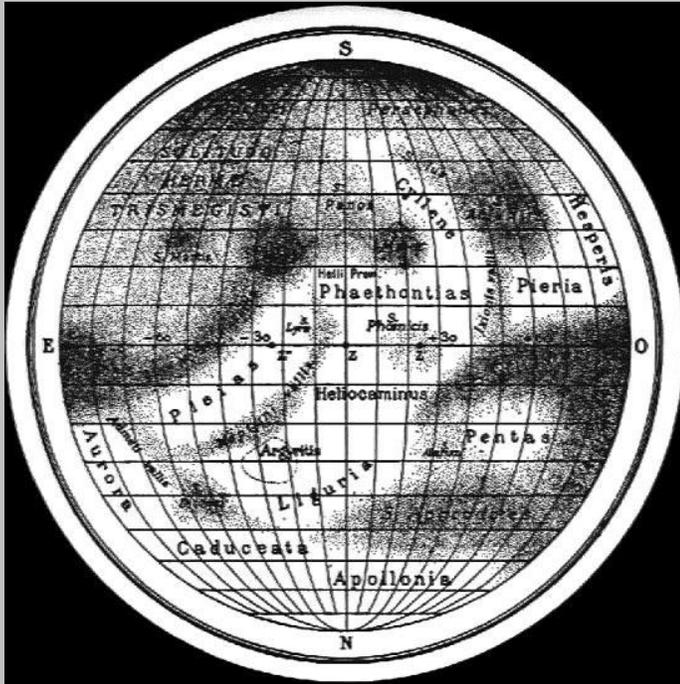
- Atmosfere molto diverse.
- Un campo magnetico globale.
- Temperatura media al suolo.

ELONGAZIONE DI MERCURIO



- Eccentricità dell'orbita alta: 0.205
- Distanza dal Sole variabile: $46 \div 69.8 (\cdot 10^6 \text{ km})$
- Periodo di rivoluzione: 88 giorni.
- Elongazione massima di Mercurio: $18 \div 28^\circ$
- Elongazioni favorevoli: primavera e autunno. $20 - 22^\circ$, diametro $\sim 7''$ (inclinazione dell'eclittica rispetto all'orizzonte è più alta).

MERCURIO OSSERVATO DA TERRA



Mappa Mercurio - Antoniadis 1920



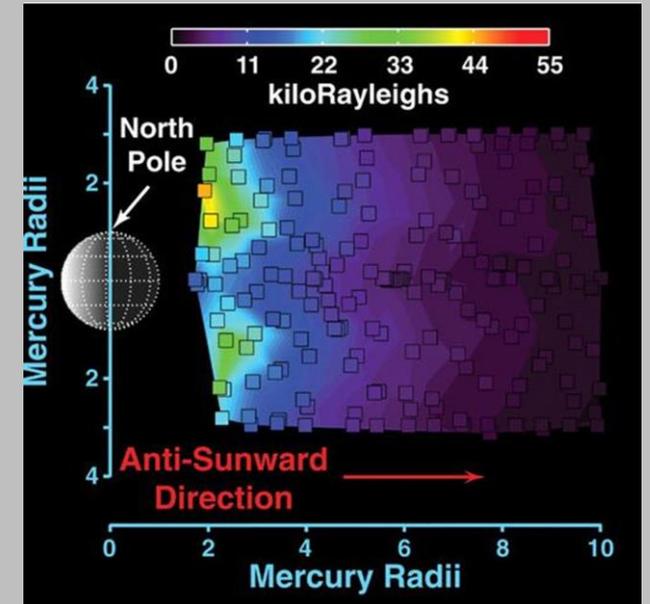
Baumgardner, Mendillo, and Wilson - 1998

TRANSITO DI MERCURIO

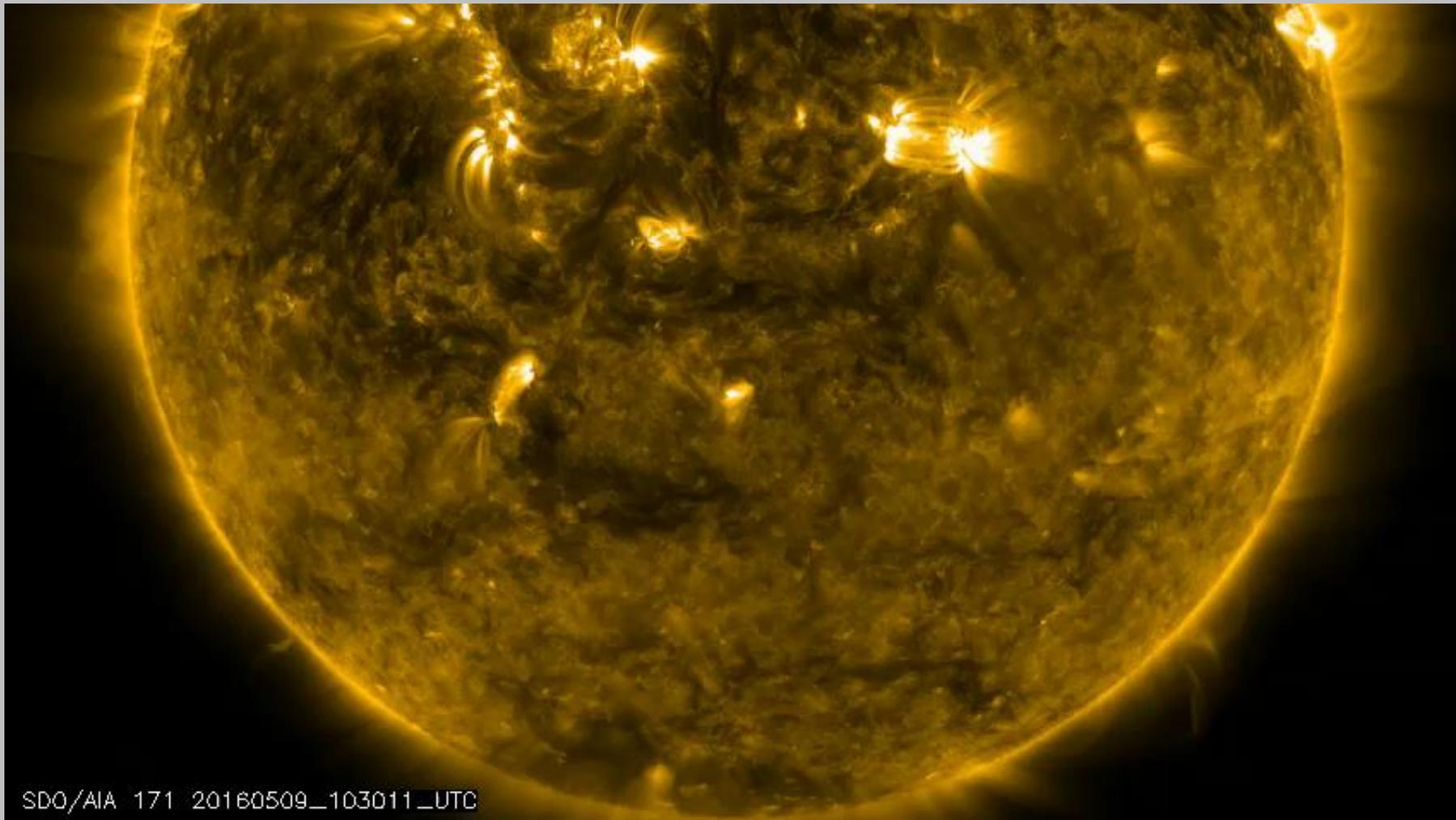
- Il transito di Mercurio avviene 13-14 volte in un secolo.
- Risultati ottenibili dai transiti di Mercurio:
 - in passato, le dimensioni del pianeta;
 - in epoca moderna, le dimensioni della fotosfera solare e informazioni sull'esosfera di Mercurio.



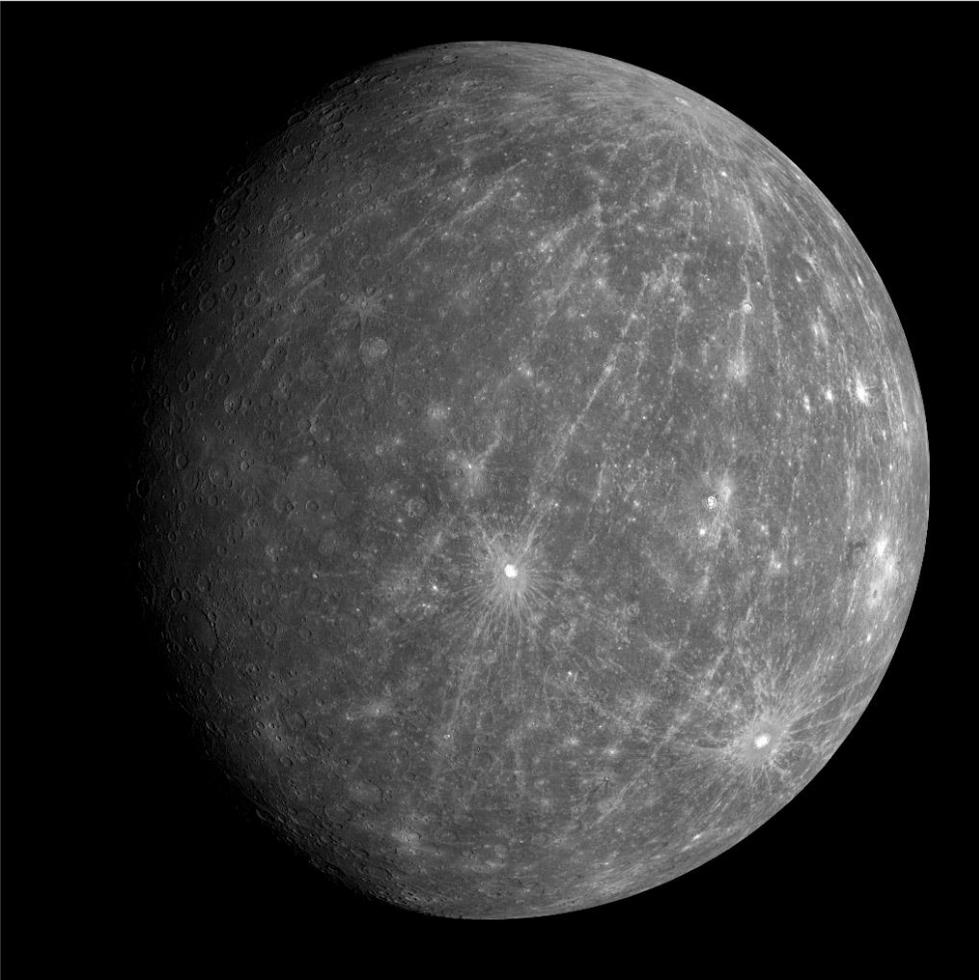
Transito di Mercurio 11.11.2019 - Credit TNG



TRANSITO DI MERCURIO

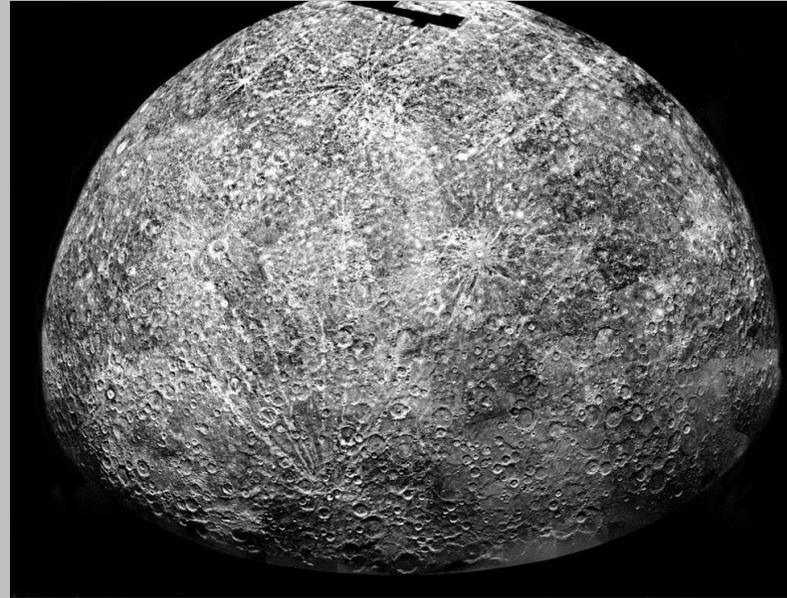


RISONANZA DEL PERIODO DI ROTAZIONE



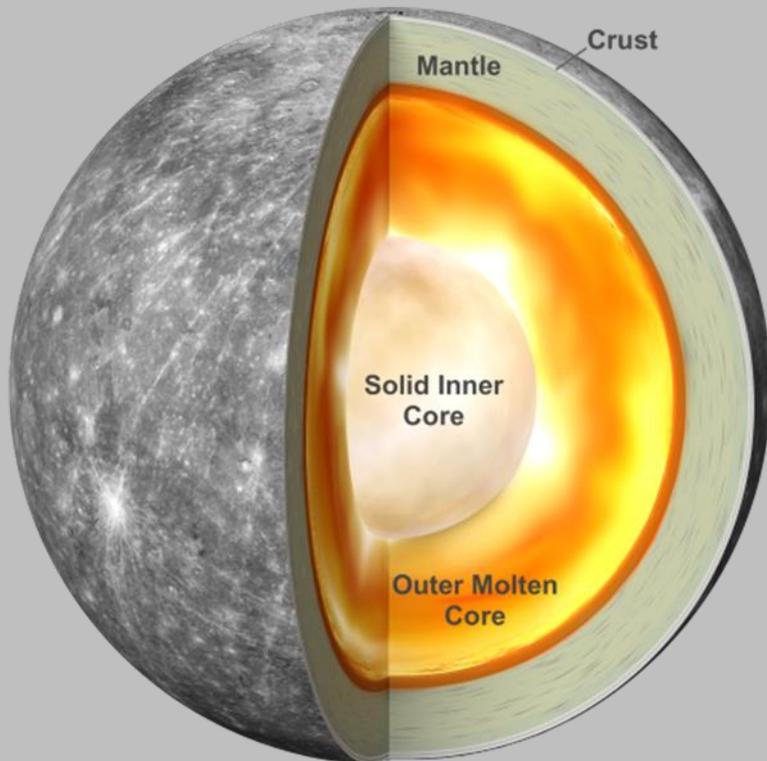
- Periodo di rotazione: 58.6 giorni.
Periodo di rivoluzione: 88 giorni.
- Il rapporto tra il periodo di rivoluzione e il periodo di rotazione è 3:2, unico tra i pianeti.
- I parametri che condizionano i risultati delle simulazioni sulla risonanza orbitale:
 - il moto progrado o retrogrado;
 - l'eccentricità dell'orbita;
 - la temperatura e la viscosità del mantello.
 - l'impatto con altri corpi.

MARINER 10



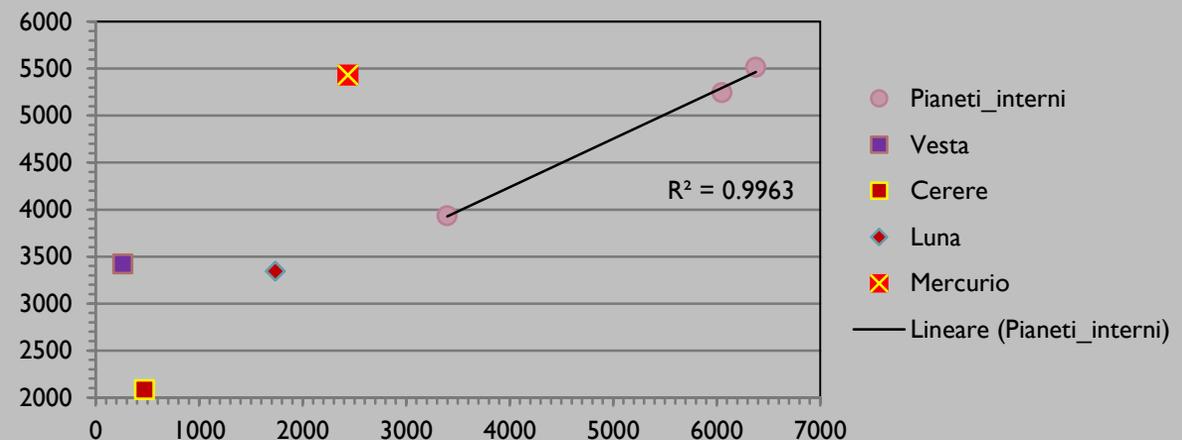
- Mappatura di circa il 40-45% della superficie.
- Morfologia simile a quella lunare.
- Un campo magnetico di tipo planetario.

MESSENGER E LA STRUTTURA INTERNA DI MERCURIO

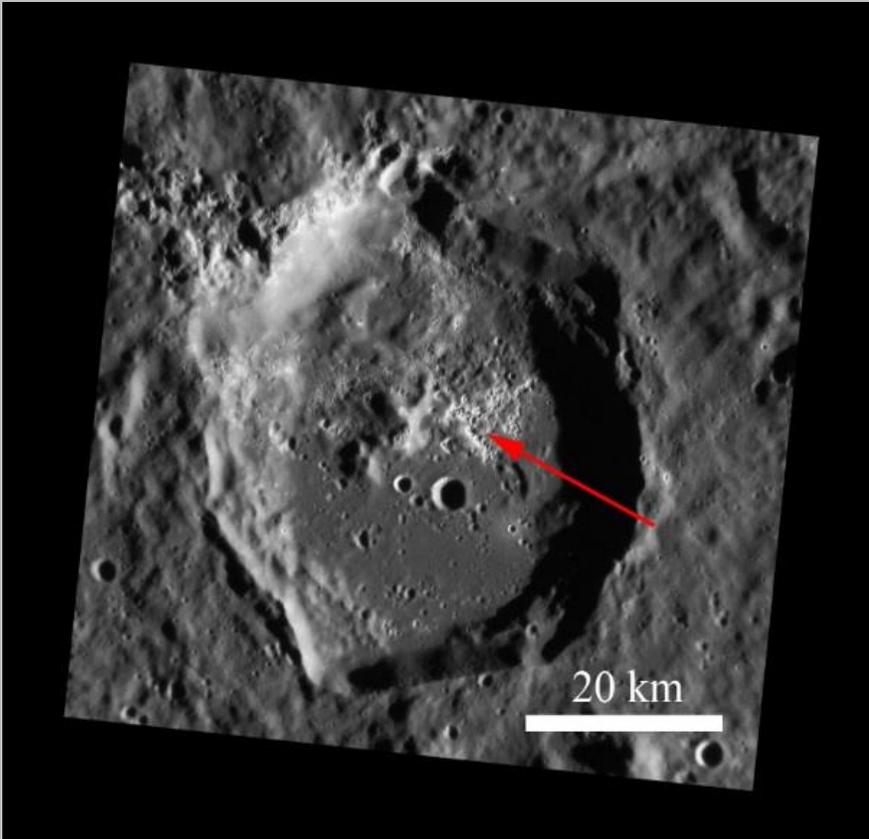


Crediti: Antonio Genova

- Il nucleo metallico – liquido e solido – di Mercurio occupa quasi l'85 per cento del volume del pianeta.
- Un nucleo interno di ferro solido di circa duemila chilometri di diametro, metà del diametro dell'intero nucleo del pianeta.
- Densità ($5.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) molto elevata rispetto al suo raggio.



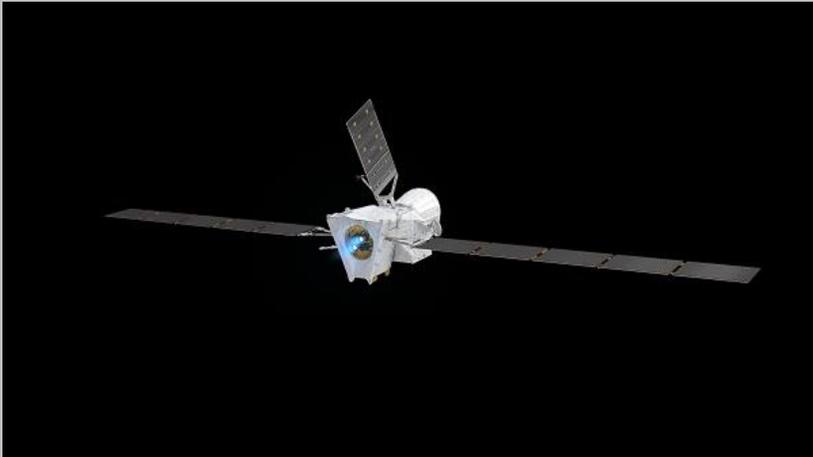
HOLLOWS



Crediti: NASA/Messenger MDIS (risoluzione di 43 m/px)

- Formazioni geologiche uniche nel sistema solare.
- Depressioni irregolari, molto brillanti e poco profonde, solitamente presenti all'interno dei crateri di impatto, sui loro bordi e picchi centrali.
- Gli spettri degli hollow indicano la presenza di solfuri di calcio, magnesio e manganese ma anche di pirosseni che presentano elementi di transizione, come cromo, titanio e nichel.
- L'ipotesi è che rappresentino i resti degli elementi persi per "devolatizzazione" dalla crosta del pianeta.

LA MISSIONE BEPICOLOMBO



Crediti: ESA/ATG medialab



642_BepiColombo_journey_to_Mercury_annotated_20181010_768p.mp4

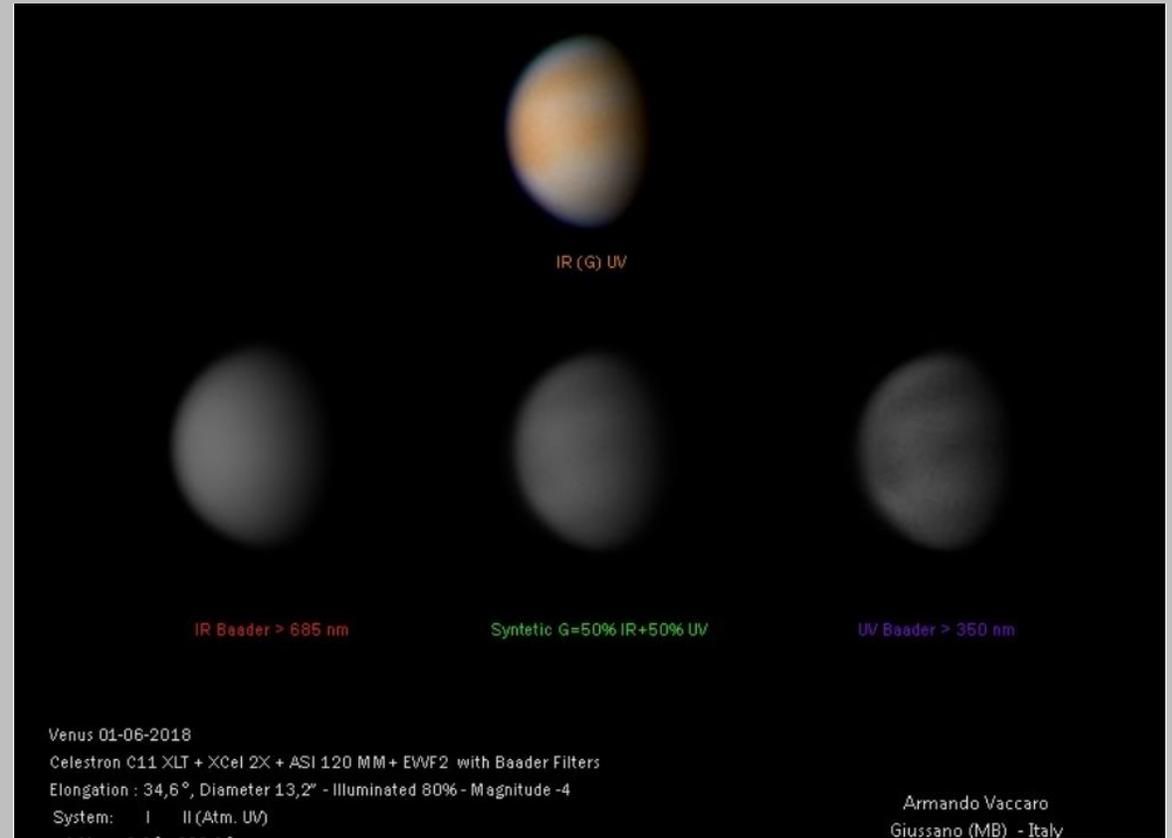
- L'origine e l'evoluzione di un pianeta che si trova in prossimità della sua stella.
- La struttura interna e la sua composizione.
- Le caratteristiche e l'origine del campo magnetico.
- L'origine delle modifiche della superficie: crateri da impatto, tettonica, depositi polari, vulcanismo.
- L'origine, la composizione e la dinamica dell'esosfera.
- La struttura e la dinamica della magnetosfera.
- La verifica della Teoria della Relatività Generale.

VENERE OSSERVATO DA TERRA



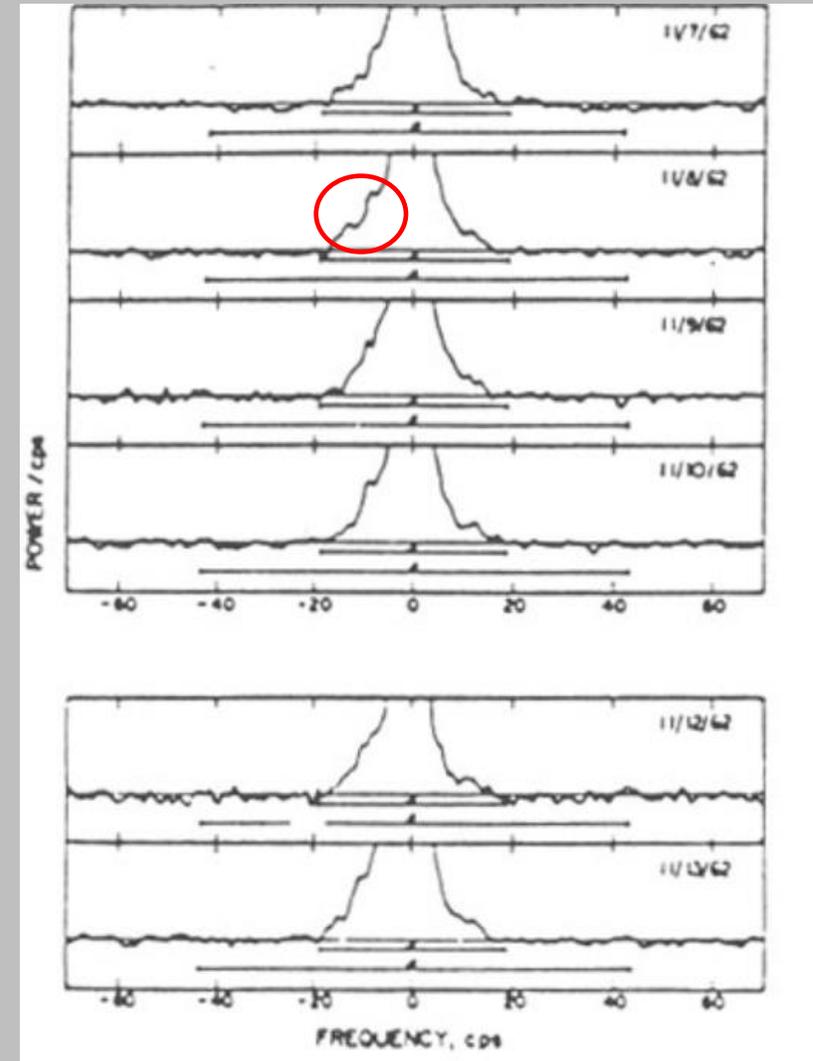
Crediti: Damian Beach

- Visibili gli strati superiori dell'atmosfera, altamente riflettenti.
- Nessun dettaglio della superficie.
- Sono visibili alcuni dettagli della struttura atmosferica quando è osservato in IR o UV.



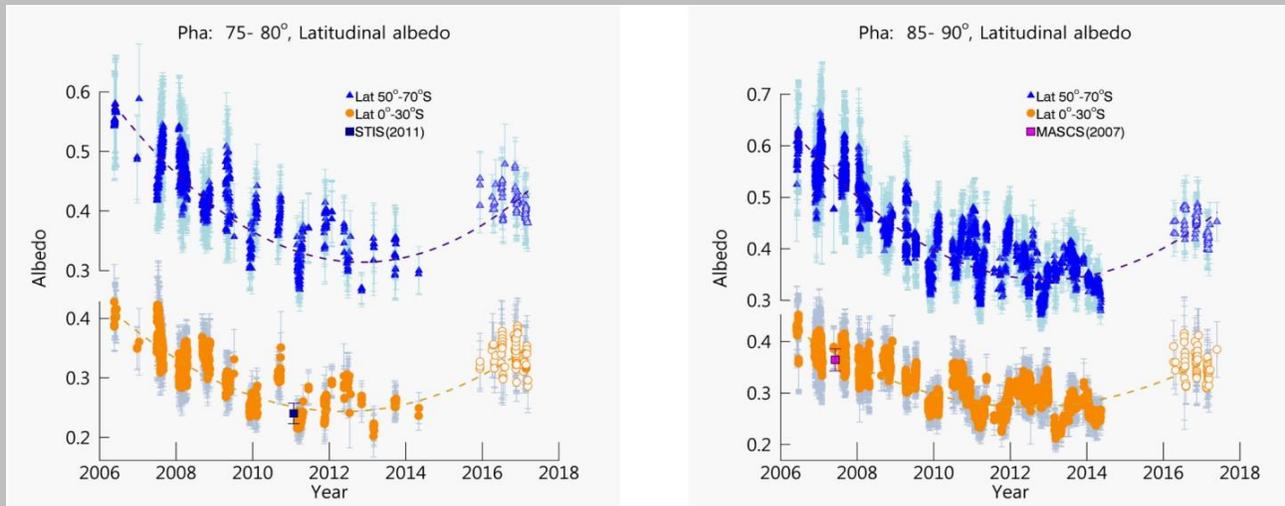
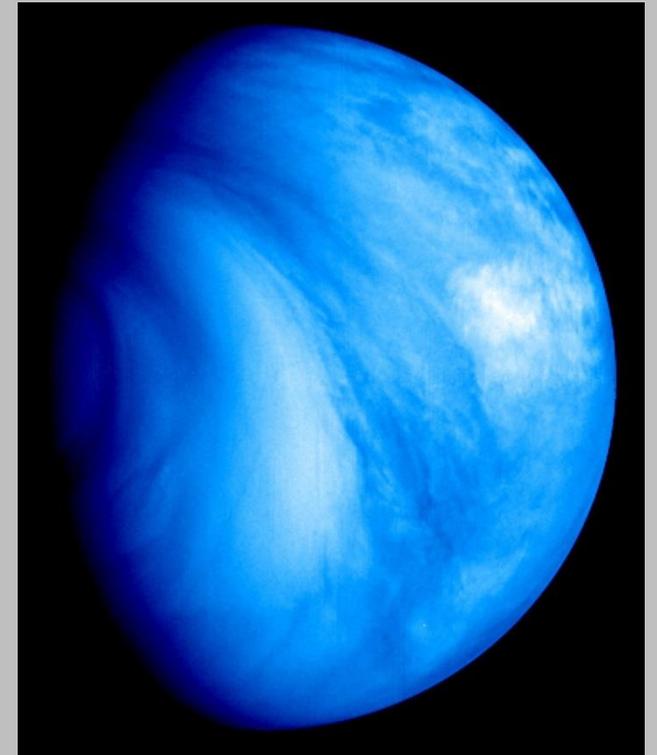
LA ROTAZIONE RETROGRADA DI VENERE

- Periodo di rotazione retrogrado: 243 giorni.
- Superiore al periodo di rivoluzione: 224.7 giorni.
- Giorno venusiano: 116 giorni terrestri.
- Ipotesi: impatto molto energetico nelle prime fasi di formazione del sistema solare.
- Velocità di rotazione degli strati superiori dell'atmosfera: 4 giorni.
- Velocità di rotazione della superficie: maggiore di 6.5 minuti in 16 anni (Venus-Express).



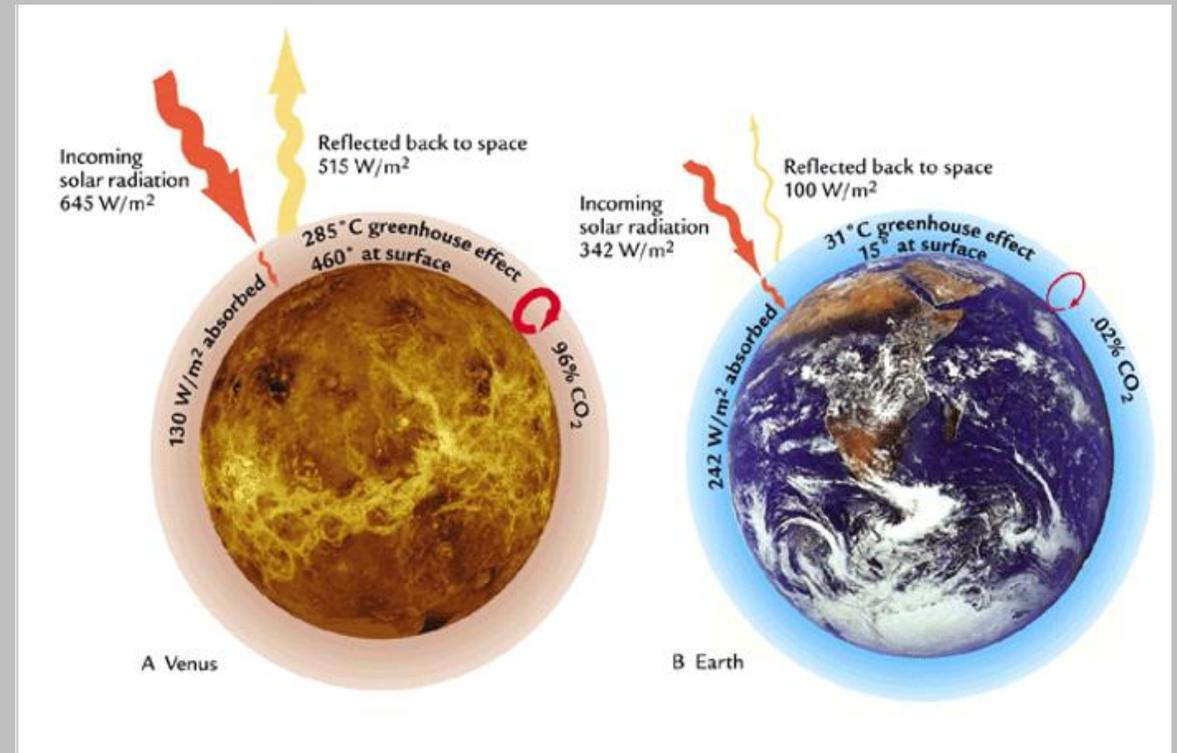
L'ATMOSFERA DI VENERE

- L'atmosfera di Venere è dominata da anidride carbonica CO_2 (96%) e da azoto N_2 (3.5%).
- Tracce (ppm): SO_2 (150), Ar (70), H_2O (20), CO, O_2 , He e Ne.
- Nubi di acido solforico (H_2SO_4) ad altezze tra 40 e 60 km.
- Pressione al suolo: 90 atmosfere.
- 'Assorbitori sconosciuti' e le variazioni di albedo.



L'EFFETTO SERRA

- La temperatura alla base dell'atmosfera varia da 446 a 490 °C, a causa dell'effetto serra.
- A causa dell'effetto serra non esiste una grande escursione termica tra giorno e notte venusiani.



IMMAGINI DEL SUOLO DEL PIANETA

Venera 9 - 1975

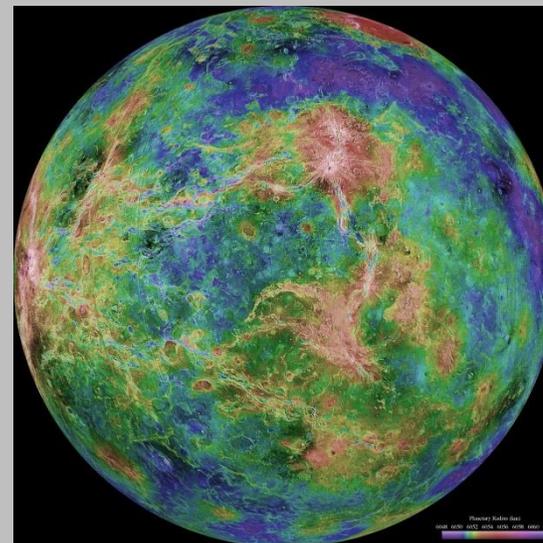


Venera 13 - 1981



LA SUPERFICIE DI VENERE

- Magellano: mappatura radar della superficie, con una risoluzione di 120-300 m.
- Sono visibili poco meno di un migliaio di crateri da impatto, che mostrano un'età non superiore a 300-500 milioni di anni e non mostrano modifiche od alterazioni da parte di flussi di lava.
- Una teoria proposta per spiegare queste "stranezze" è quella del "rinnovamento periodico" della sua superficie.
- Non mostra indizi di tettonica a placche.



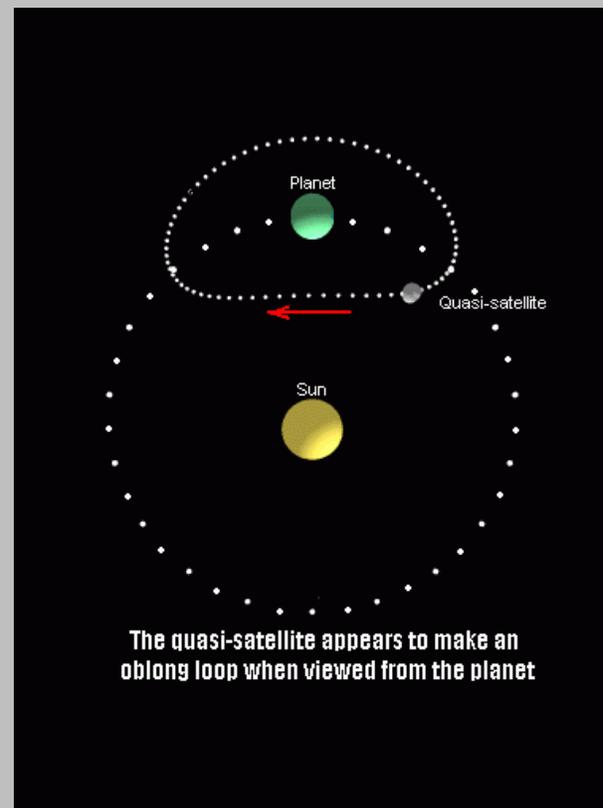
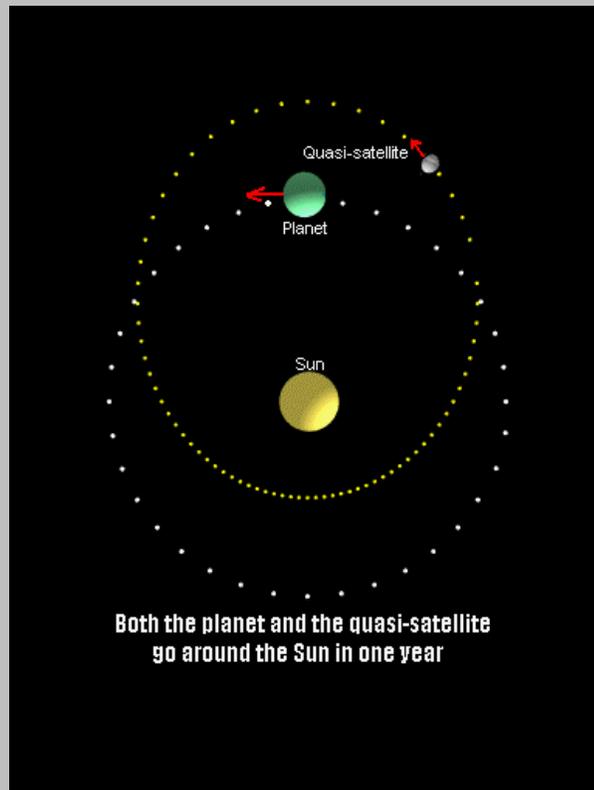
ENVISION E LO STUDIO DELLA DIVERSA EVOLUZIONE DI VENERE E TERRA



- La missione EnVision è una delle tre candidate per la selezione M5 dell'ESA.
- Selezione: fine 2021. Lancio: 2032.
- Ha i seguenti obiettivi:
 - Mappare la superficie di Venere con risoluzione di 30 m.
 - Studiare quali processi che hanno rimodellato il pianeta.
 - Investigare se il pianeta è ancora geologicamente attivo e di conseguenza rimodella la superficie e rilascia gas nell'atmosfera.
 - Determinare la struttura interna del pianeta, tramite una combinazione della gravità e della topografia del pianeta.

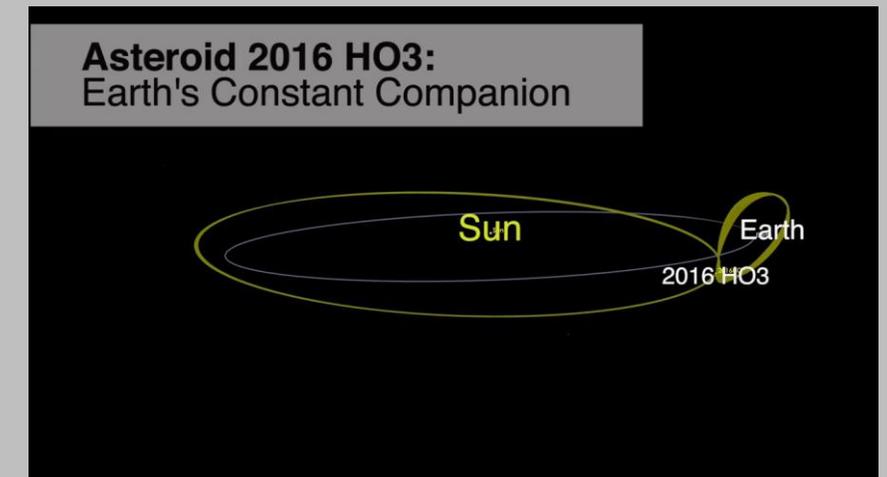
IL QUASI SATELLITE DI VENERE

Venere non ha veri satelliti come la Luna ma, così come la Terra, ha un cosiddetto “quasi satellite”, un oggetto di 250-560 m di diametro indicato con la sigla 2002 VE68.



I quasi satelliti della Terra:

- 3753 Cruithne
- 2016 HO3

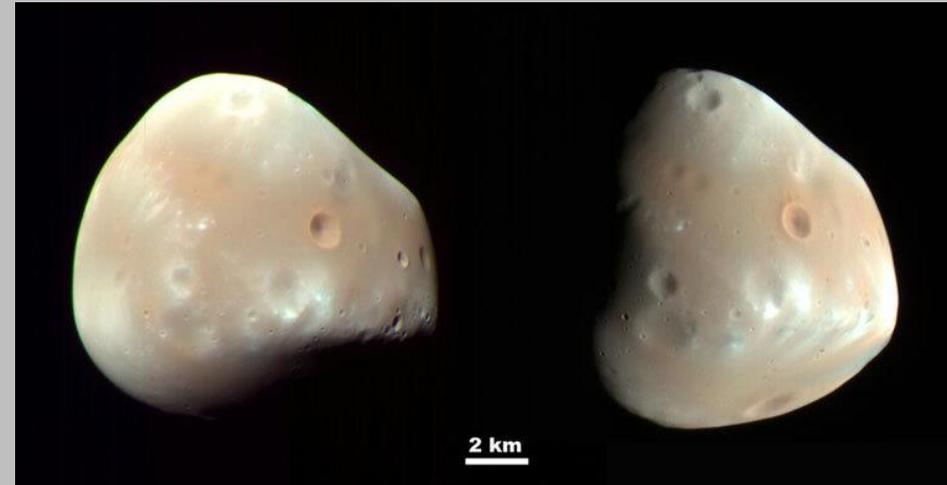


PHOBOS E DEIMOS



Phobos

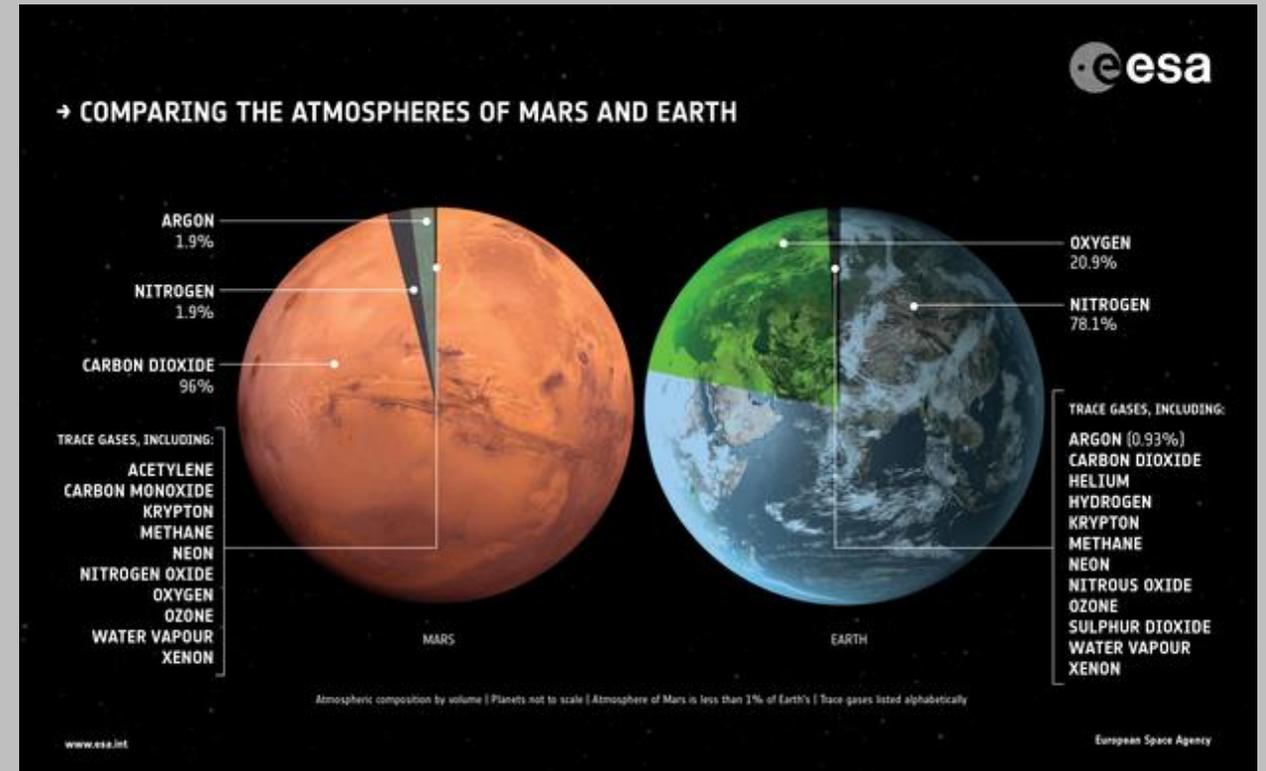
Deimos



| | Phobos | Deimos |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Dimensioni | 13.0 × 11.4 × 9.1 km | 7.8 × 6.0 × 5.1 km |
| Distanza da Marte | 9'378 km | 23'459 km |
| Periodo di rotazione | 0.31891 giorni | 1.26244 giorni |
| Periodo di rivoluzione | 0.31891 giorni | 1.26244 giorni |
| Massa (10¹⁵ kg) | 10.6 | 2.4 |
| Densità | 1.90 g·cm ⁻³ | 1.75 g·cm ⁻³ |

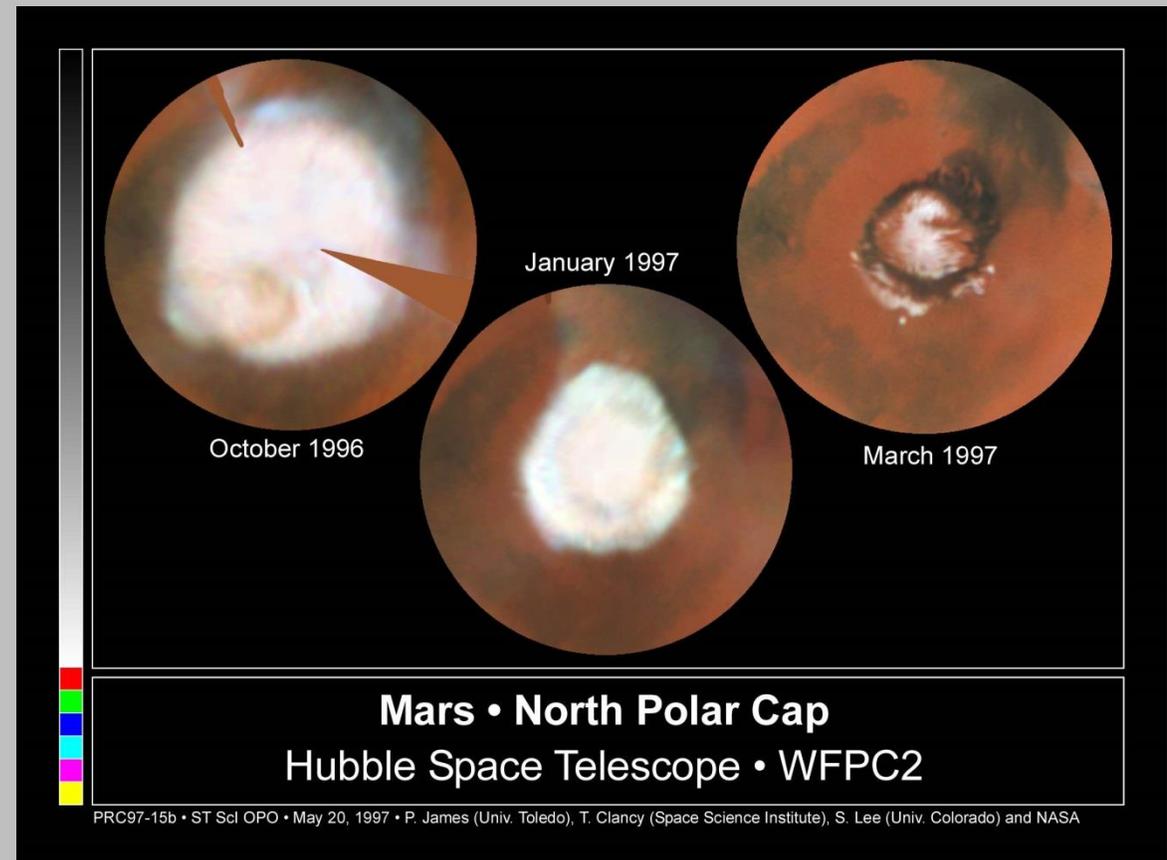
L'ATMOSFERA DI MARTE

- L'atmosfera al suolo di Marte è molto rarefatta: 6.36 mbar al suolo (densità a 35 km sulla Terra).
- Composta da: CO₂ (96%), N₂ (1.9%), Ar (1.9) con tracce di O₂, CO, H₂O e CH₄.
- La densità ha variazioni stagionali del 30%.
- Fortemente ossidante.
- In passato doveva essere più densa.



LE STAGIONI MARZIANE

- Fattori principali che influiscono sulle variazioni stagionali su Marte:
 - Angolo di inclinazione dell'asse di rotazione: 25.2° .
 - L'eccentricità dell'orbita: 0.094.
- La durata delle stagioni è determinata dal periodo di rivoluzione: 687 giorni.

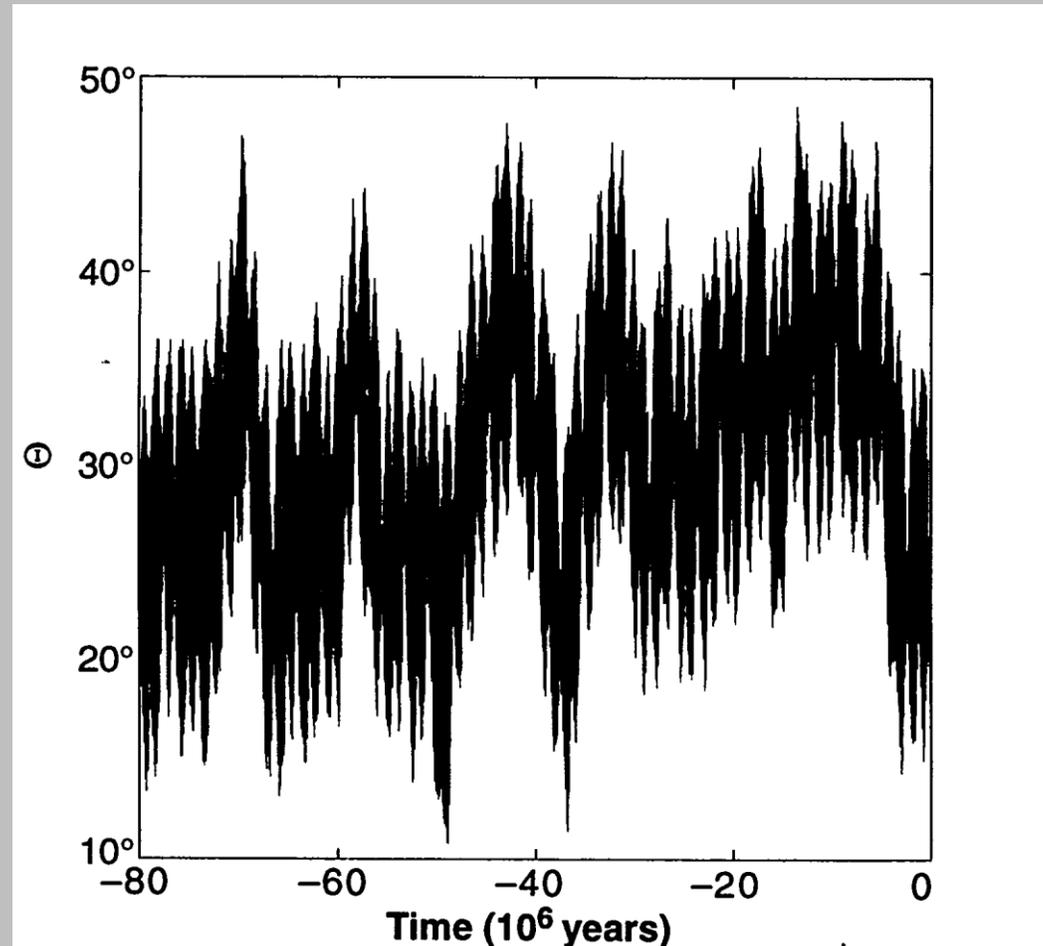


IL CLIMA MARZIANO



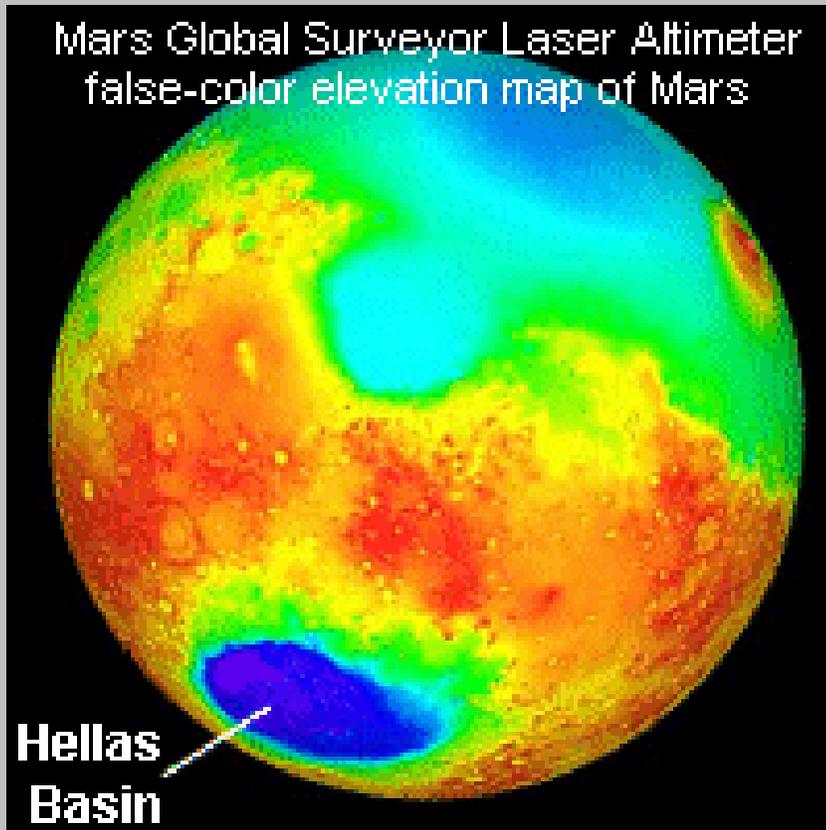
- A causa della piccola massa Marte è incapace di trattenere un'atmosfera più spessa, in quanto tende a disperdersi nello spazio.
- E' tuttavia abbastanza attiva e presenta fenomeni simili a quelli terrestri come nuvole, nebbie, e a volte dei cicloni.
- Non esistono precipitazioni.
- Le nuvole sono sottili e composte di cristalli di ghiaccio (simili ai cirri terrestri).
- Variazioni di pressione stagionali possono innescare tempeste su scala planetaria.

LA VARIAZIONE CAOTICA DELL'ASSE DI ROTAZIONE DI MARTE



Source. The Chaotic Obliquity of Mars. J. Touma; J. Wisdom

CARATTERISTICHE SUPERFICIALI



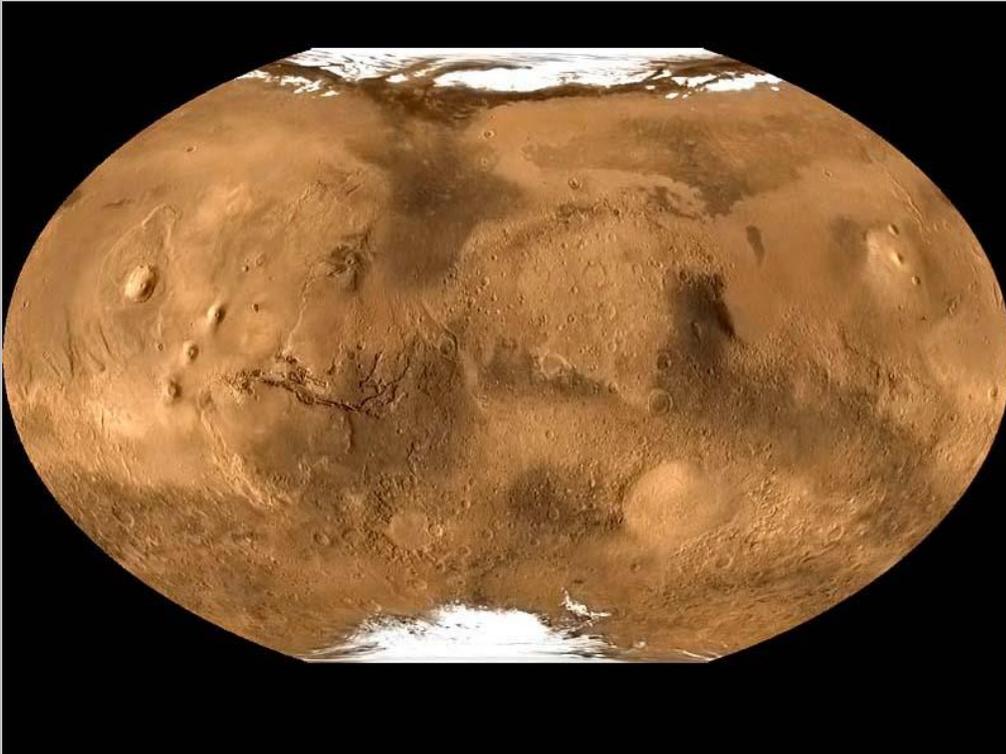
- Emisfero sud: ha una superficie mediamente più alta del nord, con presenza di montagne, crateri, valli e canyon.
- Emisfero nord: più pianeggiante, con pochi crateri e assenza totale di montagne. La superficie è circa 2 km al di sotto del livello medio del pianeta.

IL SUOLO DI MARTE



- Il suolo di Marte è completamente ricoperto da una polvere finissima e di colore rosso.
- La colorazione rossa è dovuta all'ossido di ferro.
- Il paesaggio assomiglia molto ad un tipico deserto terrestre.
- Il cielo assume una colorazione rosa a causa delle particelle di polvere presenti nell'atmosfera.

CALOTTE POLARI



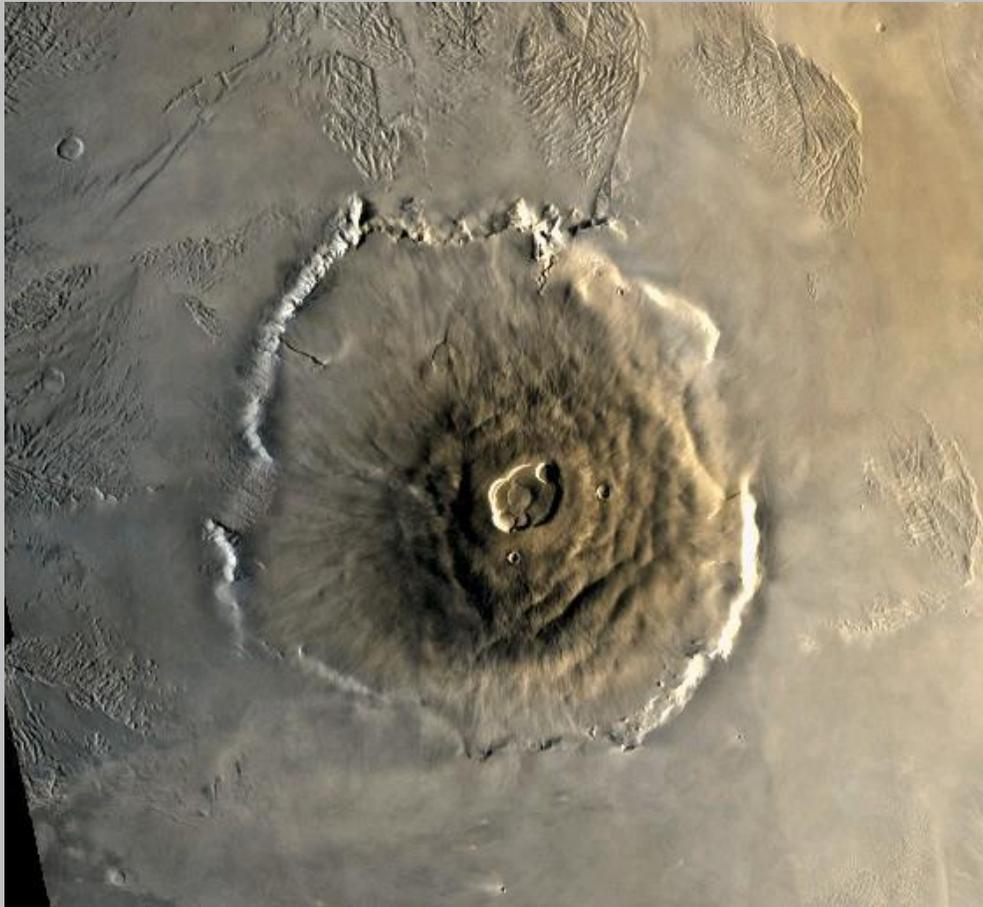
- Analogamente alla Terra, Marte possiede due calotte polari che per forma ed estensione ricordano le calotte polari terrestri.
- La temperatura estremamente bassa unita alla bassissima pressione fa sì che esse siano formate sia di ghiaccio d'acqua che di ghiaccio secco (CO_2).
- In estate, la calotta polare interessata si ritira, il ghiaccio secco si scioglie e resta solamente il ghiaccio d'acqua.

L'ACQUA SU MARTE

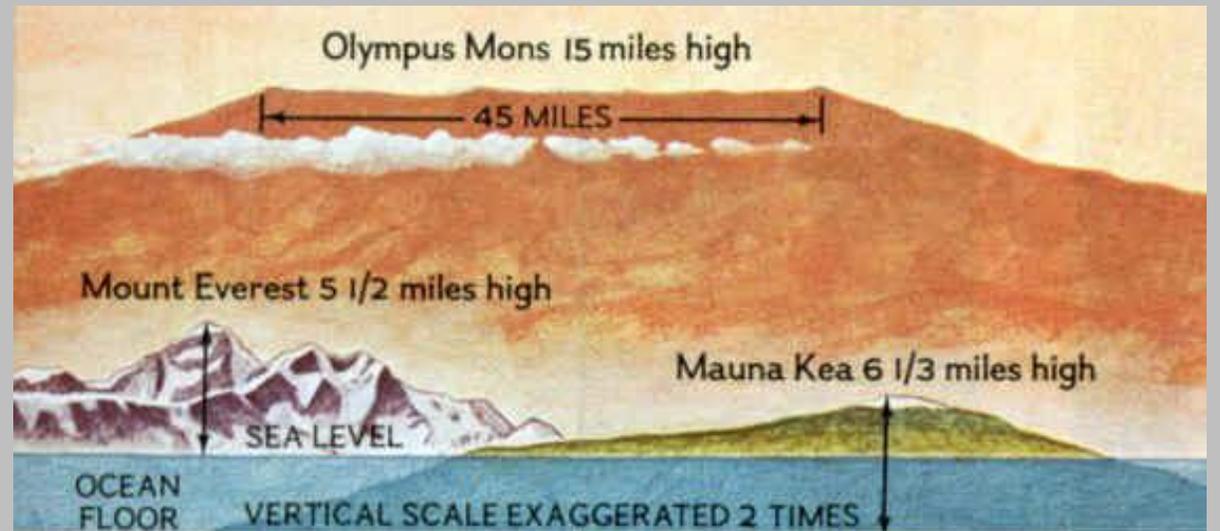
- La sonda Viking, nel 1976, ha reso evidente il fatto che la superficie di Marte fosse un tempo coperta da mari, laghi e fiumi.
- Le successive missioni hanno confermato sempre più tale presenza.
- Dove è finita l'acqua di Marte:
 - portata via dal vento solare;
 - depositata sotto forma di ghiaccio nelle calotte polari;
 - legata al terreno nel permafrost;
 - intrappolata nelle profondità e potrebbe ancora trovarsi allo stato liquido.



MONTE OLYMPUS



- E' il più grande vulcano di Marte.
- Diametro: 600 km
- Altezza: 24 km
- Larghezza caldera: 80 km



LE CAUSE DEL CAMBIAMENTO



Come sarebbe potuto apparire
Marte alcuni miliardi di anni fa ...

- La cessazione dell'attività vulcanica.
- Mancanza di un ricambio atmosferico in grado di sostenere la perdita nello spazio di buona parte dell'atmosfera a causa della massa più piccola.
- Possibili fluttuazioni repentine dell'asse di rotazione.
- Impatti con asteroidi più frequenti.

I CANYON DI MARTE

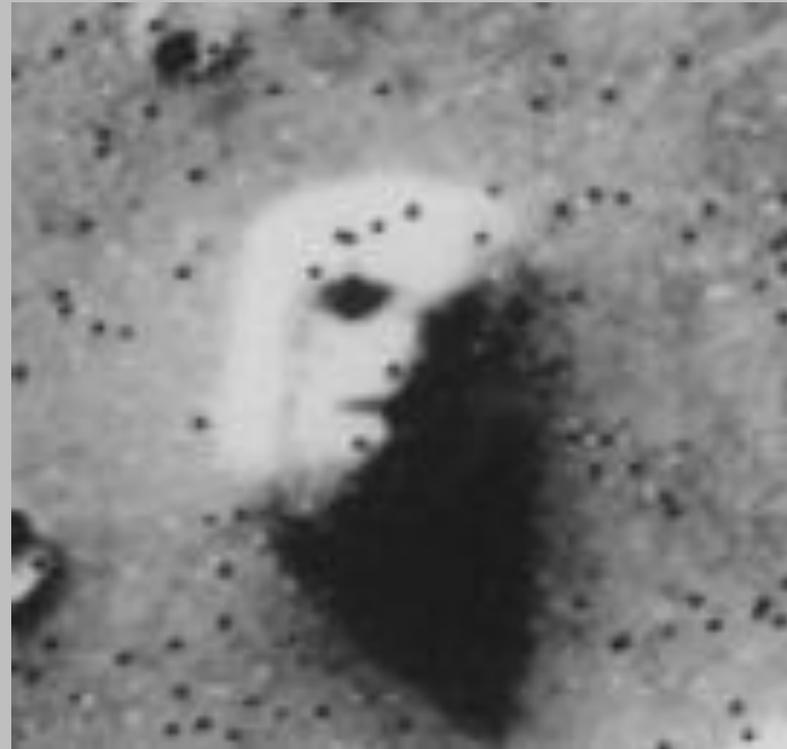
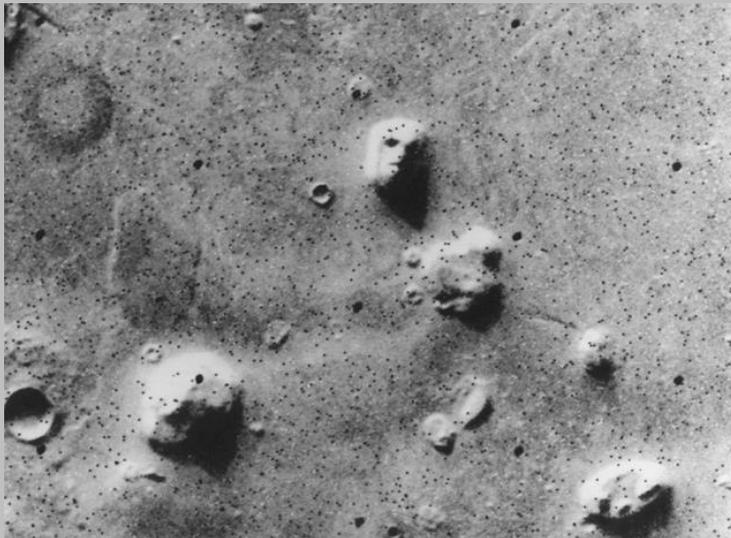


Valles Marineris ripresa dal Viking 1 il 22 Febbraio 1980

- Lunghezza: 3000 km
- Larghezza: 240 km
- Profondità 6 km

IL MISTERO DI CYDONIA

- Il mito della “Faccia di Marte” nasce nel 1976.
- In una delle immagini riprese dai Viking, nella regione denominata Cydonia, i ricercatori del JPL notano delle strutture curiose.
- Una di queste assomiglia ad un volto umano.



ILLUSIONI OTTICHE

- Nel 1998 quando il Mars Global Surveyor dirige i suoi strumenti verso la stessa area.
- Quello che fu evidente è che la 'faccia' non era altro che una collina franata.



LA MISSIONE EXOMARS

- ExoMars è una doppia missione dell'ESA a guida italiana realizzata in collaborazione con Roscosmos.
- La missione è suddivisa in due fasi:
 1. La sonda (TGO), lanciata il 14 marzo 2016, per studiare la presenza di metano e altri gas presenti nell'atmosfera e per cercare indizi di una presenza di vita attiva.
 2. La seconda parte della missione, prevista nel maggio 2020, consiste nel portare sul pianeta un rover capace di penetrarne il suolo sino a 2 metri per analizzarlo.



Credit: ESA

APPENDICE A - CARATTERISTICHE DEI PIANETI

| | MERCURIO | VENERE | TERRA | MARTE | GIOVE | SATURNO | URANO | NETTUNO |
|---|----------|----------|--------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Massa (10²⁴kg) | 0.33 | 4.87 | 5.97 | 0.642 | 1'898 | 568 | 86.8 | 102 |
| Diametro (km) | 4879 | 12,104 | 12'756 | 6792 | 142'984 | 120'536 | 51'118 | 49'528 |
| Densità (kg/m³) | 5427 | 5243 | 5514 | 3933 | 1326 | 687 | 1271 | 1638 |
| Gravità (m/s²) | 3.7 | 8.9 | 9.8 | 3.7 | 23.1 | 9 | 8.7 | 11 |
| Velocità di fuga (km/s) | 4.3 | 10.4 | 11.2 | 5 | 59.5 | 35.5 | 21.3 | 23.5 |
| Periodo di rotazione (ore) | 1'407.6 | -5'832.5 | 23.9 | 24.6 | 9.9 | 10.7 | -17.2 | 16.1 |
| Lunghezza del giorno (ore) | 4'222.6 | 2'802 | 24 | 24.7 | 9.9 | 10.7 | 17.2 | 16.1 |
| Distanza dal Sole (10⁶ km) | 57.9 | 108.2 | 149.6 | 227.9 | 778.6 | 1'433.5 | 2'872.5 | 4'495.1 |
| Perielio (10⁶ km) | 46 | 107.5 | 147.1 | 206.6 | 740.5 | 1'352.6 | 2'741.3 | 4444.5 |
| Afelio (10⁶ km) | 69.8 | 108.9 | 152.1 | 249.2 | 816.6 | 1'514.5 | 3'003.6 | 4'545.7 |
| Periodo orbitale (giorni) | 88 | 224.7 | 365.2 | 687 | 4'331 | 10'747 | 30'589 | 59'800 |
| Velocità orbitale (km/s) | 47.4 | 35 | 29.8 | 24.1 | 13.1 | 9.7 | 6.8 | 5.4 |
| Inclinazione orbitale (gradi) | 7 | 3.4 | 0 | 1.9 | 1.3 | 2.5 | 0.8 | 1.8 |
| Eccentricità dell'orbita | 0.205 | 0.007 | 0.017 | 0.094 | 0.049 | 0.057 | 0.046 | 0.011 |
| Inclinazione asse di rotazione (gradi) | 0.034 | 177.4 | 23.4 | 25.2 | 3.1 | 26.7 | 97.8 | 28.3 |
| Temperatura media (C) | 167 | 464 | 15 | -65 | -110 | -140 | -195 | -200 |
| Pressione superficiale (bar) | 0 | 92 | 1 | 0.01 | Sconosciuta | Sconosciuta | Sconosciuta | Sconosciuta |
| Numero di lune | 0 | 0 | 1 | 2 | 79 | 62 | 27 | 14 |
| Sistema di anelli? | No | No | No | No | Sì | Sì | Sì | Sì |
| Campo magnetico globale? | Sì | No | Sì | No | Sì | Sì | Sì | Sì |

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>