Marte: un pianeta da scoprire

Elena Valbuzzi

Dipartimento di Scienze dell'ambiente e della Terra

Università degli Studi di Milano Bicocca

21 maggio 2024

Sommario

Mappatura geomorfologica di fenomeni di superficie

Caratteristiche fisiche del pianeta Marte

Missioni spaziali

Caratteristiche morfologiche

Frane su Marte

Mappatura geomorfologica

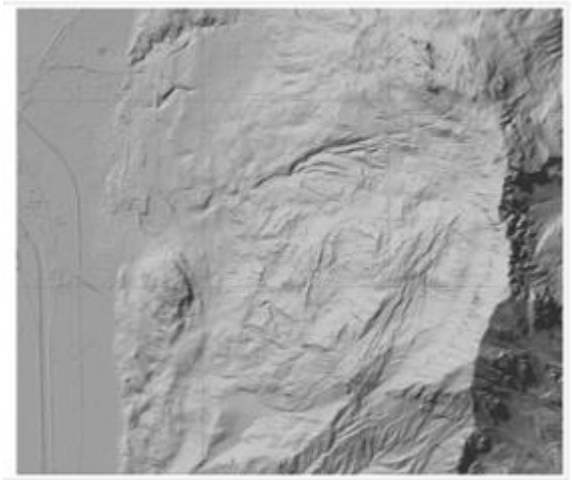
Mappatura geomorfologica di fenomeni di superficie

Identificazione e caratterizzazione di frane e fenomeni morfologici di superficie

Attraverso foto aeree

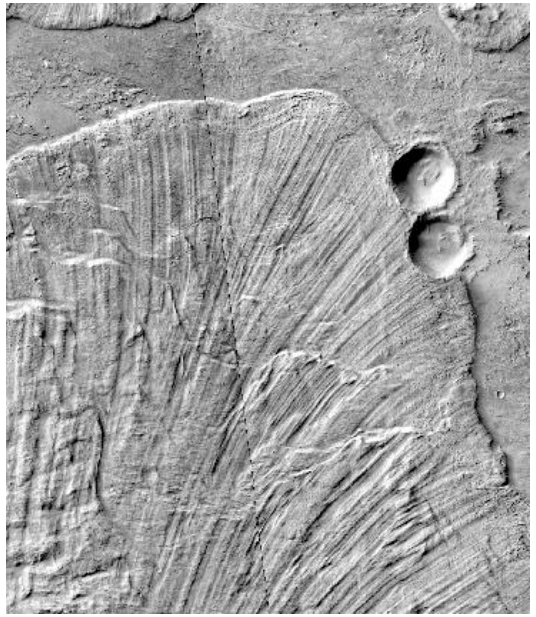
TEM1 anno 1983, zona del Monte Padrio (SO)

Immagini LIDAR

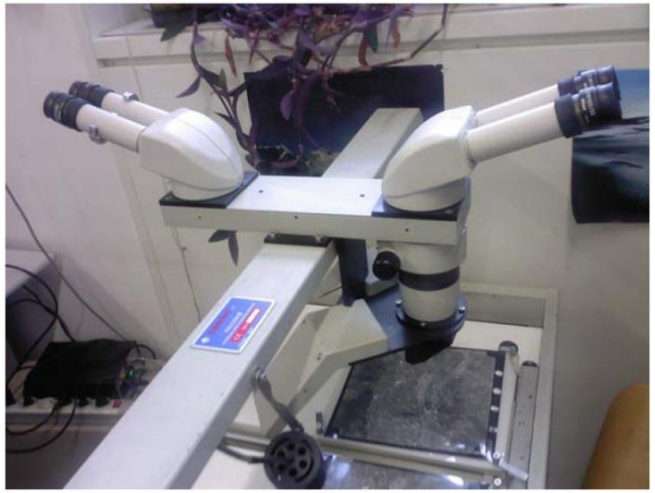


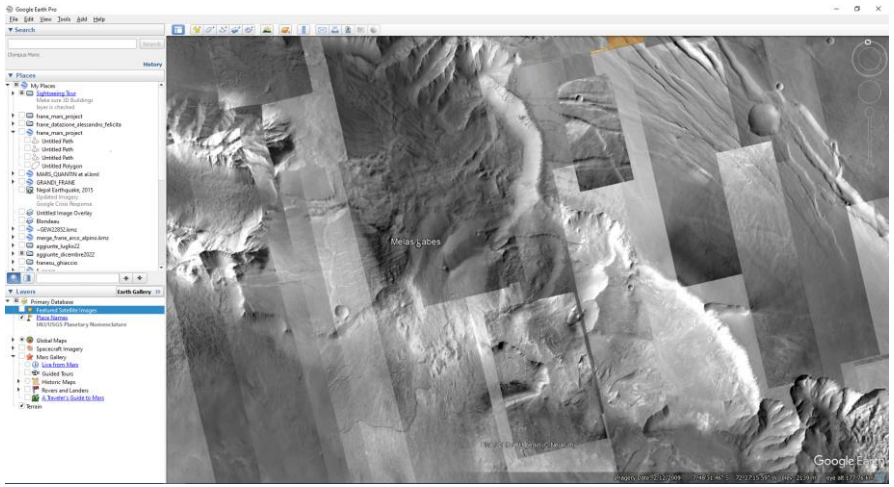
LIDAR 1 m, zona della Marzola (TN)

Immagini da satellite



PSP_009541_1775_RED.JP2
HiRISE
(fotocamera del
Mars Reconnaisance Orbiter)



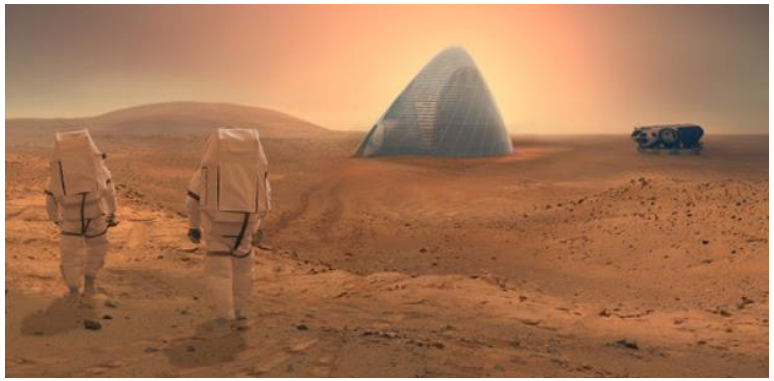


Utilizzo di strumenti diversi:

- Stereoscopi (visione tridimensionale dell'area di studio)
- Personal computer (uso di diversi software)

Mappatura geomorfologica

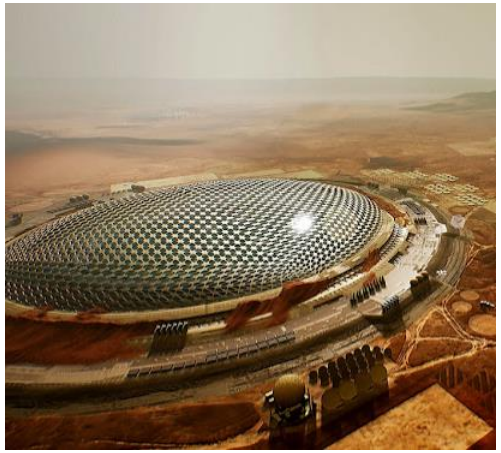
Perché Marte?



- Desiderio di conoscenza per un pianeta così simile alla Terra.
- Senza la vegetazione è molto più facile mappare le forme!

Per l'umanità in generale:

- Oltre alla voglia di conoscenza c'è l'eventuale colonizzazione del pianeta di fronte a un possibile scenario apocalittico sulla Terra
- E' il pianeta più vicino alla Terra

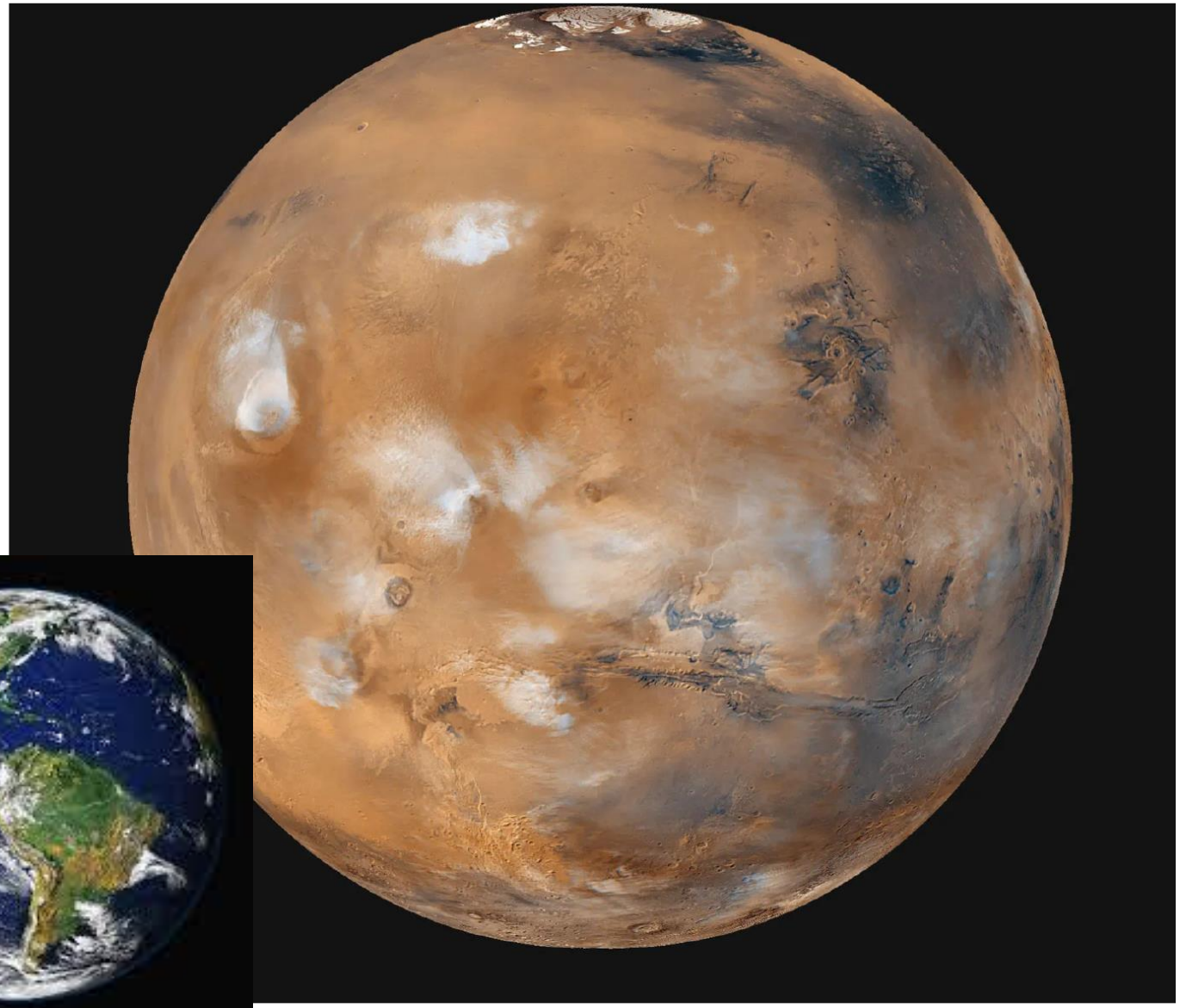


Case su Marte:

Ci sono progetti diversi

La prima idea è fornita da un gruppo di architetti per gli Emirati Arabi per una cupola geodetica, ma ci sono varie ipotesi: calcestruzzo composto da materie prime disponibili sul pianeta, casa di ghiaccio, casa di bambù.

Caratteristiche fisiche



E’ il pianeta più studiato del sistema solare

Pianeta rosso:

gran parte della superficie è ricoperta da ossido di ferro

Marte era il nome dato dai Romani al dio della guerra.

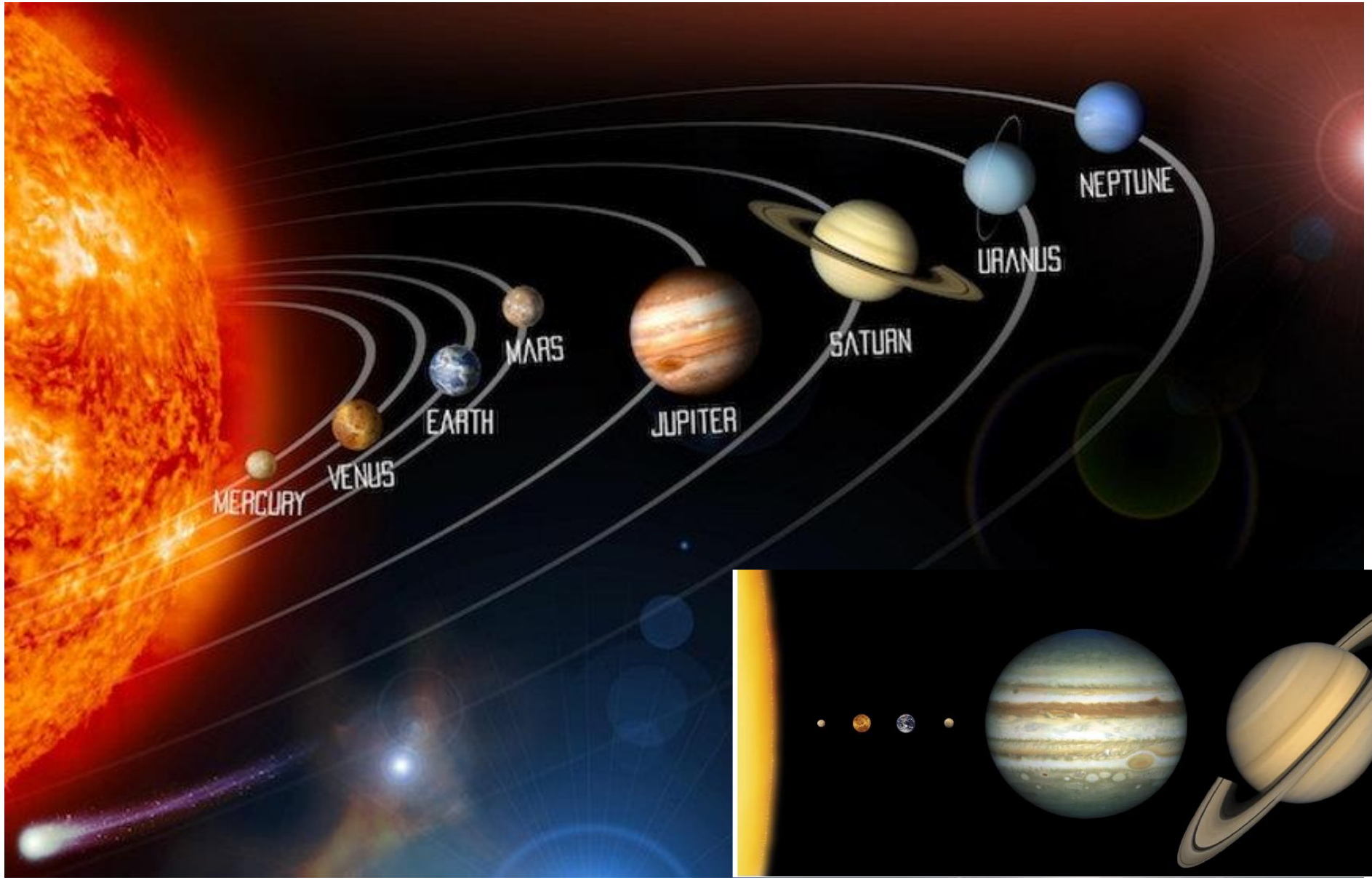
La storia documentata di osservazione del pianeta Marte, risale al periodo degli antichi astronomi egiziani nel 2 ° millennio AC (visibile dalla Terra a occhio nudo).
Nel XIX secolo, la risoluzione dei telescopi raggiunse un livello sufficiente per identificare le caratteristiche della superficie.
Nel 1877, l'astronomo italiano Giovanni Schiaparelli usò un telescopio di 22 cm, a Milano per aiutare a produrre la prima mappa dettagliata di Marte.

Caratteristiche fisiche

- DIAMETRO equatoriale 6.800 km (circa la metà di quello terrestre)
- MASSA 6,342 * 10^{23} kg, circa un decimo di quella terrestre;
- DENSITÀ media di 3,94 gr/cm^3, cioè inferiore a quella della Terra (5,52 gr/cm^3) e simile a quella della Luna (3,34 gr/cm^3)
- TEMPERATURA -140° + 20° C
- ATMOSFERA rarefatta composta principalmente da anidride carbonica
- FORZA DI GRAVITÀ 3.69 m/s^2 (terra 9.81 m/s^2) esempio se un bambino sulla terra pesa 30 kg su Marte solo 11 kg
- PERTURBAZIONI ATMOSFERICHE: al perielio, l'influenza del Sole può scatenare enormi tempeste di sabbia, che in pochi giorni avvolgono l'intera superficie del pianeta per settimane.
- VELOCITÀ DEI VENTI: possono arrivare a velocità di oltre 400 km/h

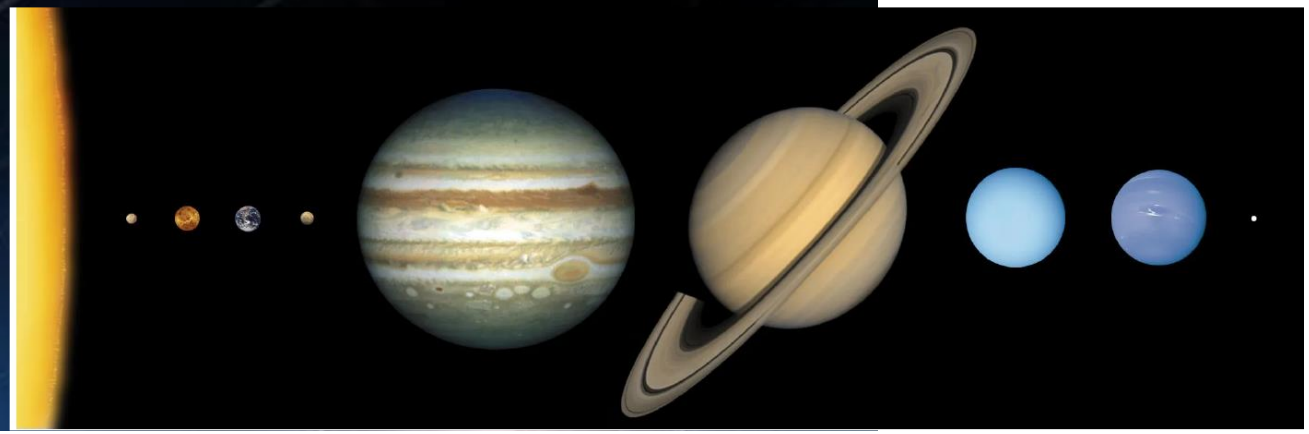
Caratteristiche fisiche

Distanza dal sole:
4 pianeta roccioso



Marte distanza media dal sole: 227.944.000 km

Terra distanza media dal sole: 149.600.000 km



Caratteristiche fisiche

Principali differenze di composizione atmosferica tra Marte e Terra

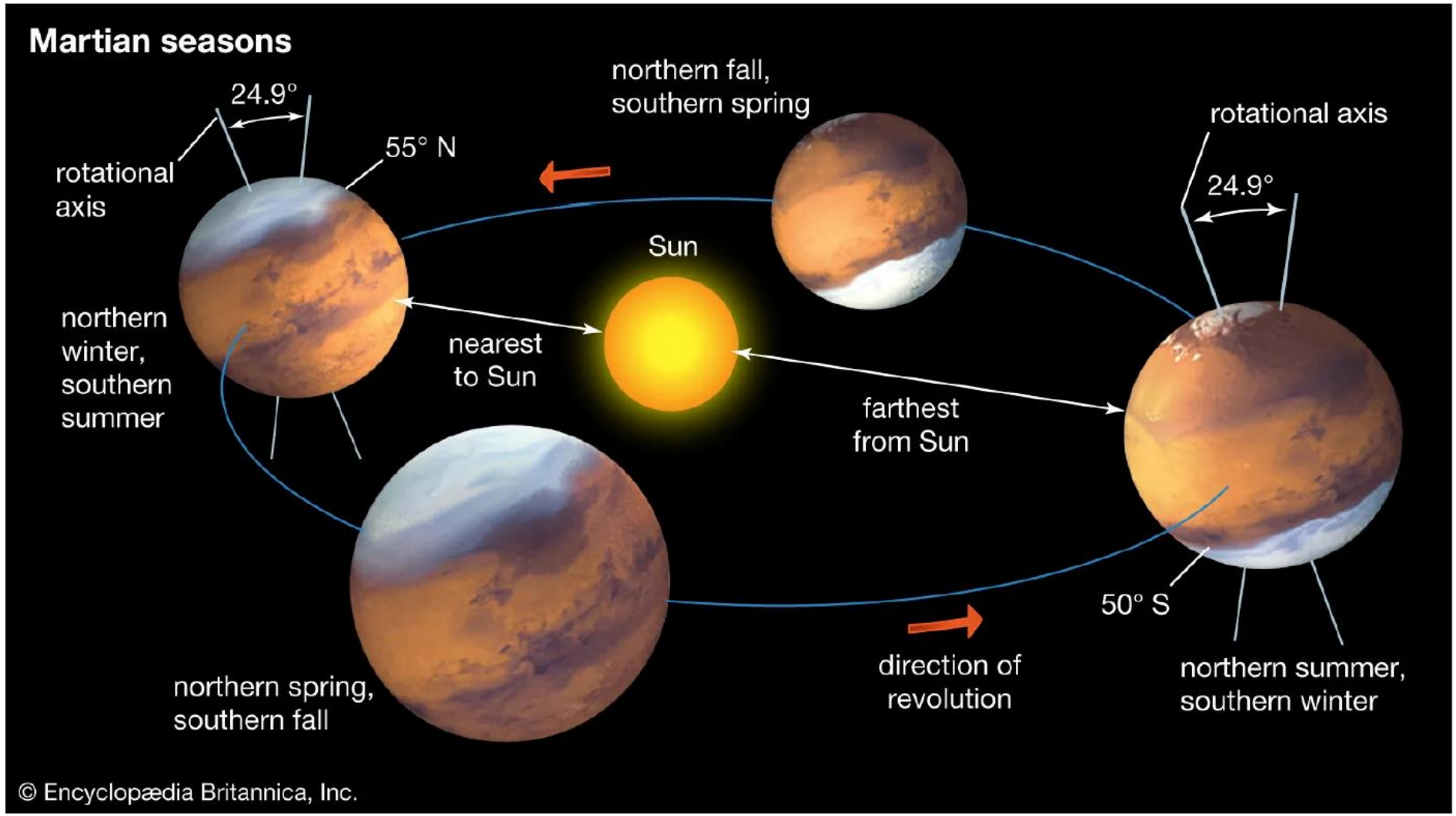
Composizione atmosferica	Marte	Terra
Anidride carbonica	95,32%	0,032%
Azoto	2,7%	78,084%
Argon	1,6%	0.934%
Ossigeno	0,13%	20,946%
Monossido di carbonio	0,08%	0-tracce
Vapore acqueo	0,02%	0.33%
Monossido di azoto	0,01%	0.5 ppm
Neon	2,5 ppm	182 ppm
Kripton	0,3 ppm	0,11 ppm
Xeno	0,08 ppm	0.08 ppm
Ozono	0,03 ppm	0.0364 ppm
Metano	0,01 ppm	0,00015 ppm

Estremamente rarefatta e ricca di polveri

L'atmosfera marziana si compone principalmente di anidride carbonica.

È stato definitivamente provato che è presente anche metano nell'atmosfera marziana e in certe zone anche in grandi quantità. Dato che il metano è un gas instabile che viene scomposto dalla radiazione ultravioletta solitamente in un periodo di 340 anni nelle condizioni atmosferiche marziane, la sua presenza indica l'esistenza di una fonte relativamente recente del gas.
Tra le possibili cause vi possono essere l'attività vulcanica, l'impatto di una cometa e la presenza di forme di vita microbiche generanti metano. Un'altra possibile causa potrebbe essere un processo non biologico dovuto alle proprietà della serpentinite di interagire con acqua, anidride carbonica e l'olivina, un minerale comune sul suolo di Marte.

Caratteristiche fisiche



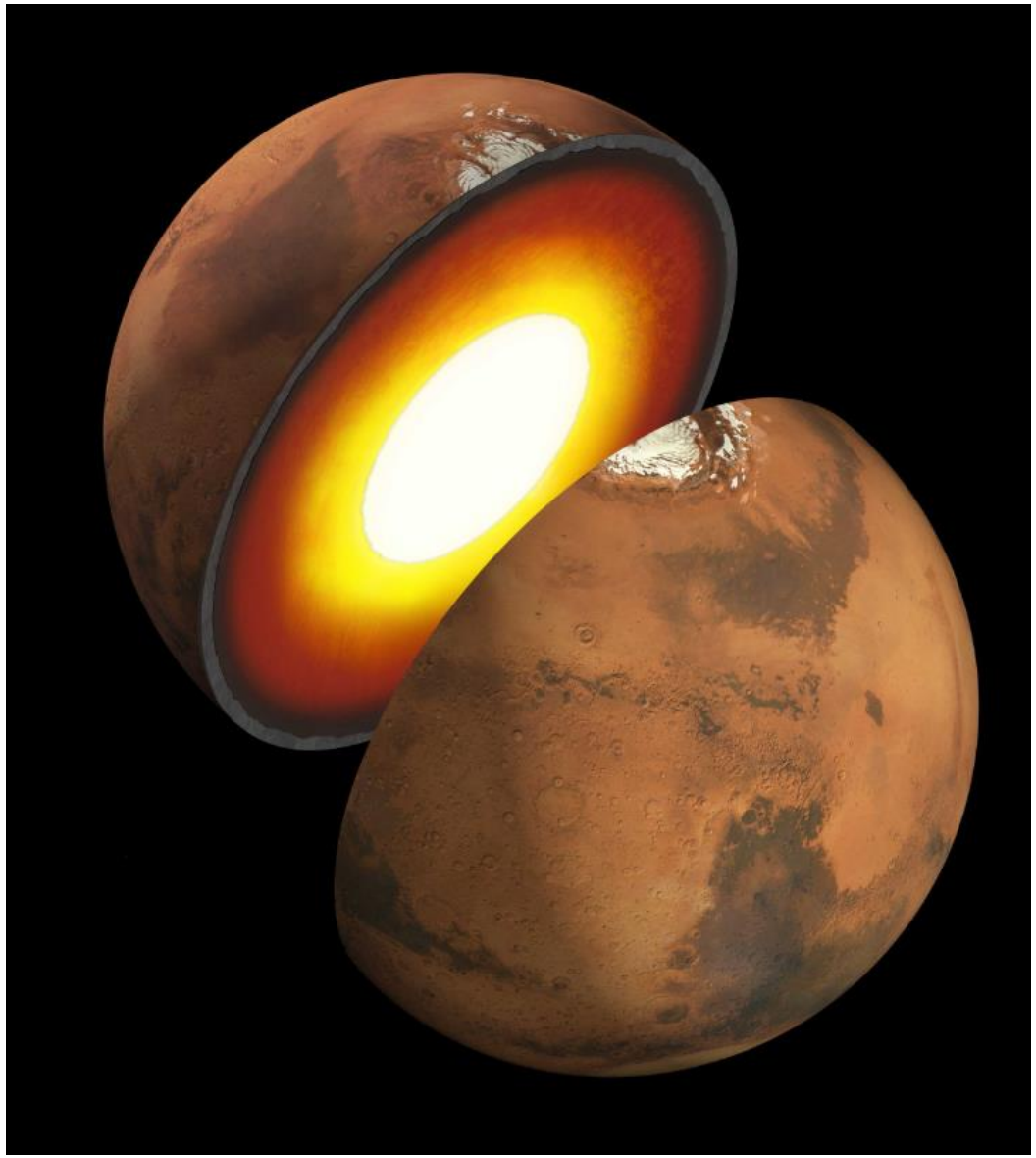
Asse rotazione 24.9° simile a quello terrestre 23.5°

Durata del giorno (Sol) simile 24 h 37 minuti

1 anno marziano sono circa 687 giorni terrestri

Stagioni simili a quelle della terra (durata doppia) per via dell'orbita fortemente ellittica

Caratteristiche fisiche



Crosta: 50 km in media (35 km Terra, fino a 70 km)

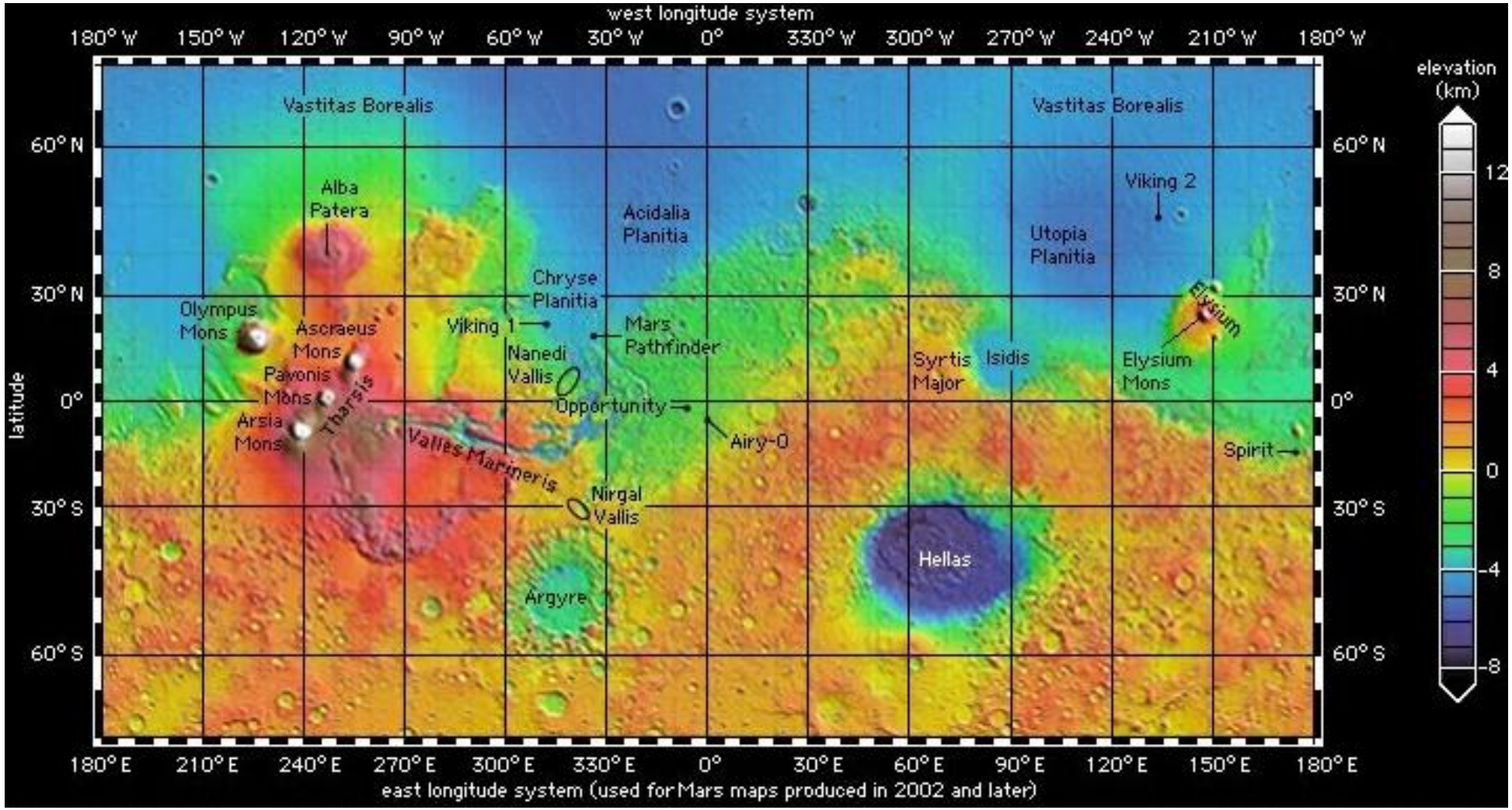
Mantello: 1550 Km (2890 km Terra)

Nucleo: 1800 km (3470 km Terra)

Nel 2019 prime osservazioni sismiche dirette
del lander InSight della Nasa, che forniscono indizi fondamentali sulla composizione di Marte attraverso la registrazione di terremoti.

Dalle onde sismiche è possibile derivare le proprietà e i confini della struttura interna di un pianeta. Le onde di taglio (onde S) originate da un terremoto, che viaggiano e si riflettono sul nucleo di ferro-nichel, vengono rilevate dal sismometro di Insight e consentono di fare una stima della dimensione del nucleo stesso. La forza delle onde riflesse mostra che il nucleo è allo stato liquido, attraverso il quale le onde di taglio non possono propagarsi.

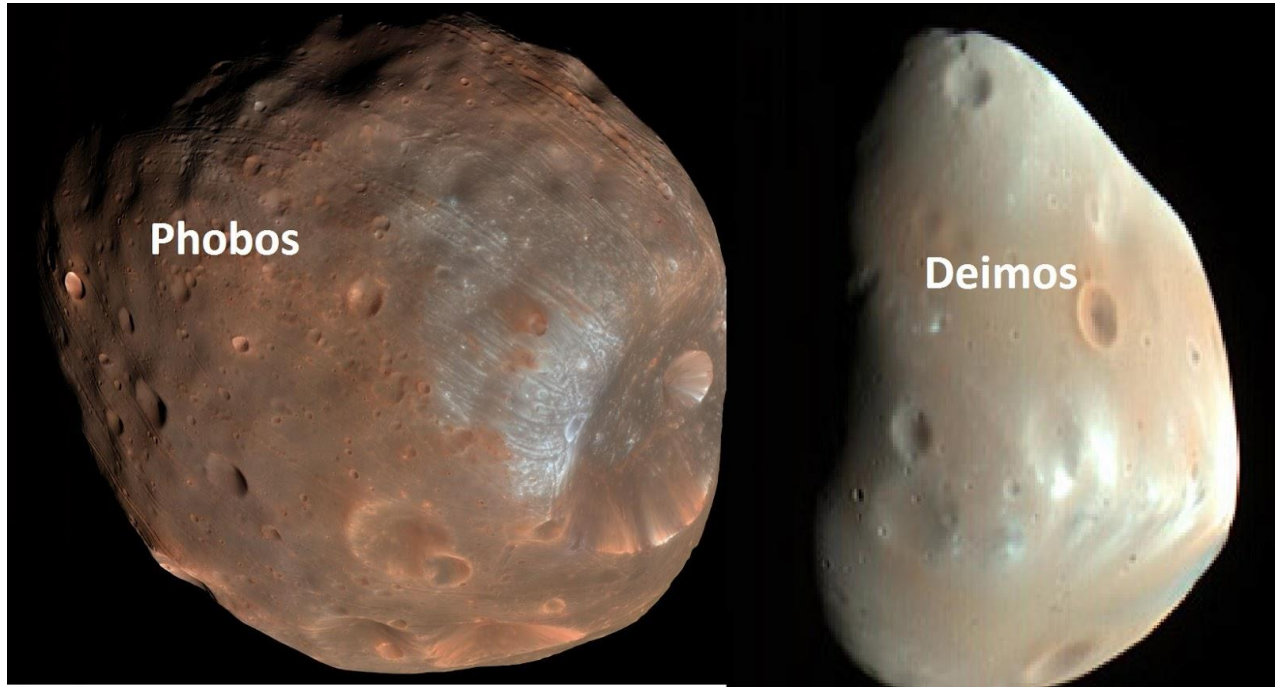
Caratteristiche fisiche



Mappa topografica globale di Marte prodotta da dati di altimetria laser ad alta risoluzione raccolti da Mars Global Surveyor fino all'ottobre 2000. Le principali caratteristiche del pianeta e i siti di atterraggio dei veicoli spaziali sono etichettati. Questa prospettiva dimostra il contrasto in rilievo tra gli emisferi settentrionale e meridionale del pianeta e il dominio di Tharsis nell'emisfero occidentale.

Caratteristiche fisiche

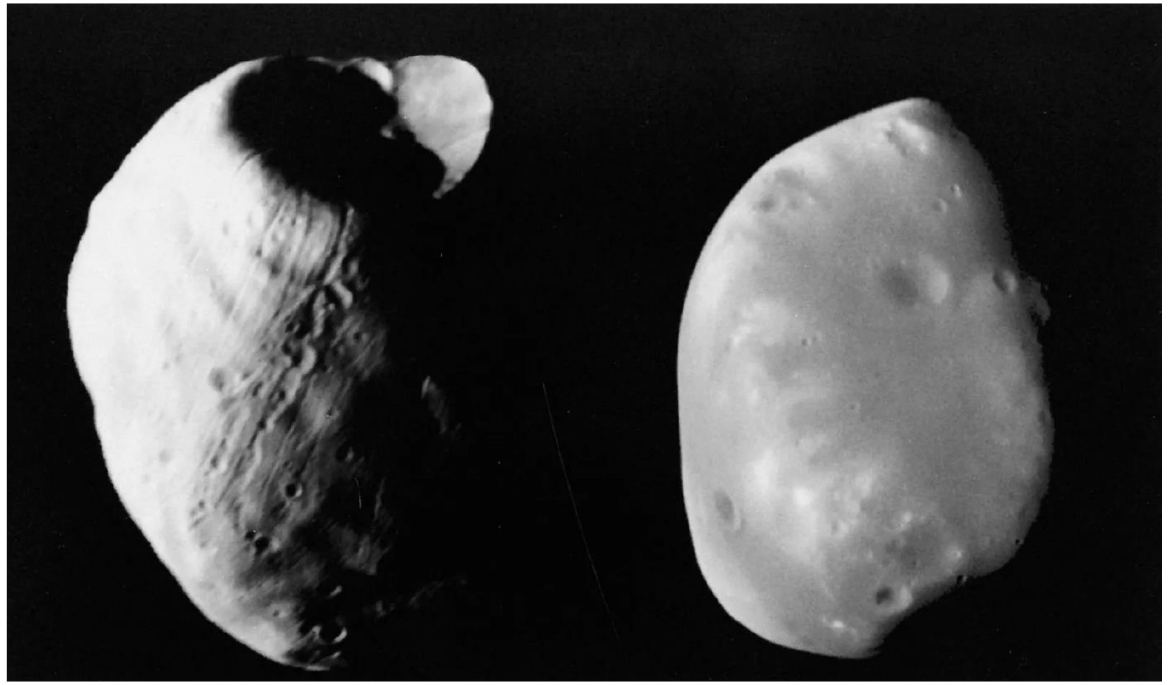
Le lune di Marte



Phobos: Paura

Deimos: Terrore

Luna: satellite terrestre

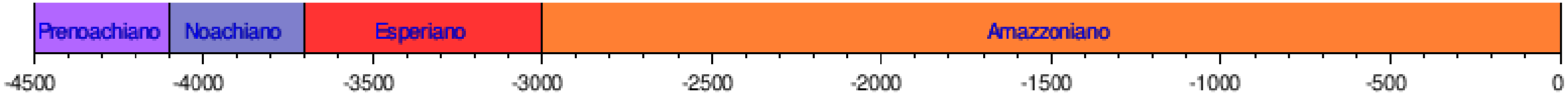


Due piccoli satelliti gravitano intorno a Marte probabilmente 2 asteroidi catturati dalla forza di gravità nelle fasi iniziali della formazione del sistema planetario

Caratteristiche fisiche

Marte si formò all'incirca 4,6 miliardi di anni fa, come gli altri tre pianeti terrestri e cioè a seguito della condensazione della nebulosa solare. La teoria più accreditata è quella della "nebulosa primordiale", cioè di un'immensa nube di gas e polvere in rotazione dalla quale si sarebbero formati il sole e i pianeti, mantenendo lo stesso moto di rotazione della nube.

Storia del pianeta:
4 ere geologiche



Prenoachiano 4,5 – 4,1 miliardi di anni fa
Noachiano 4,1 - 3,7 miliardi di anni fa; il pianeta fu soggetto a un'intenso bombardamento meteorico. Il pianeta da allora mostra segni di moderati impatti successivi, ma nessun evento di grosse proporzioni. Formazione del Bacino Borealis, di Tharsis e presenza di molta acqua liquida
Esperiano 3.7 – 3 miliardi di anni fa; periodo di transizione, intensa attività vulcanica e alluvioni catastrofiche, progressiva scomparsa di acqua. Formazione di Olympus Mons.
Amazzoniano 3 miliardi di anni fa – oggi; pochi bombardamenti meteorici, clima freddo e arido.

Caratteristiche fisiche

- Cosa ha eliminato il campo magnetico?
- C’è stata tettonica a placche?
- Qual è l’origine della dicotomia globale?
- Come si è formata Valles Marineris?
- Vulcanismo
- Aureole
- Strani terreni ghiacciati
- Presenza di acqua
- C’era un oceano su Marte?
- C’è o c’è stata vita sul pianeta?

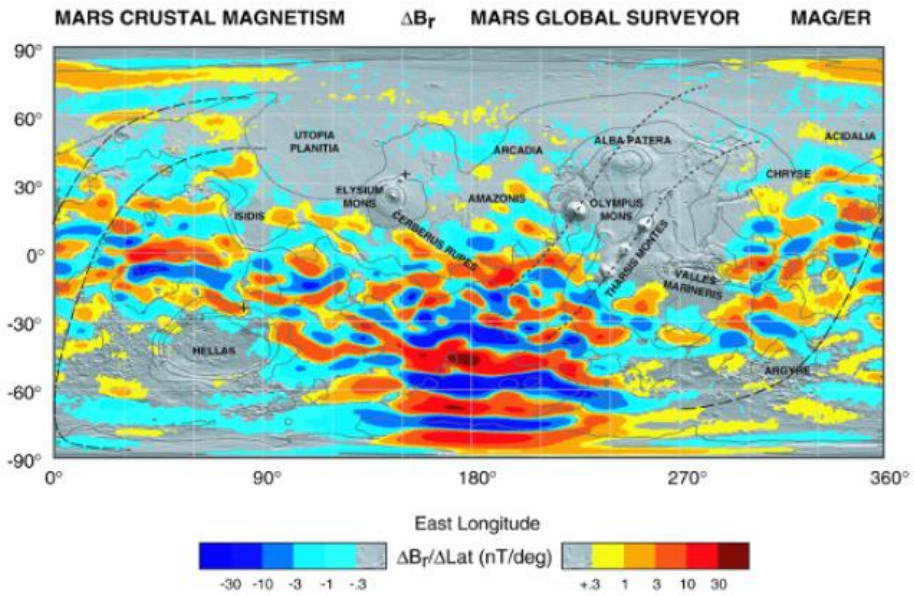
Queste sono solo alcune delle domande che ci si può porre. **Mysteries of Mars** (dal libro di Fabio Vittorio De Blasio, 2018, Springer).
Di seguito vengono riportate delle ipotesi in risposta.
Ci sono molte teorie perché si hanno ancora troppo poche conoscenze sul pianeta.

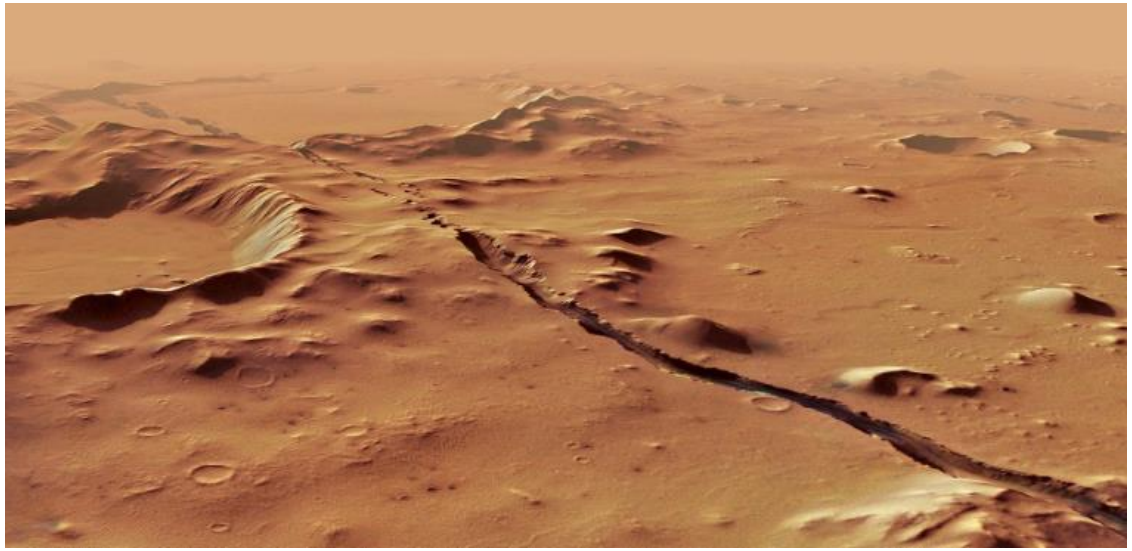
Caratteristiche fisiche

Campo magnetico

Non c'è campo magnetico (moti convettivi esauriti) o meglio un residuo debole

Il raffreddamento veloce del pianeta dopo la sua formazione ha impedito che i materiali pesanti finissero nel nucleo e dessero vita a un campo magnetico. Il campo magnetico assente non può proteggere l'atmosfera dall'azione del vento solare. Esiste solo un campo magnetico residuo superficiale.



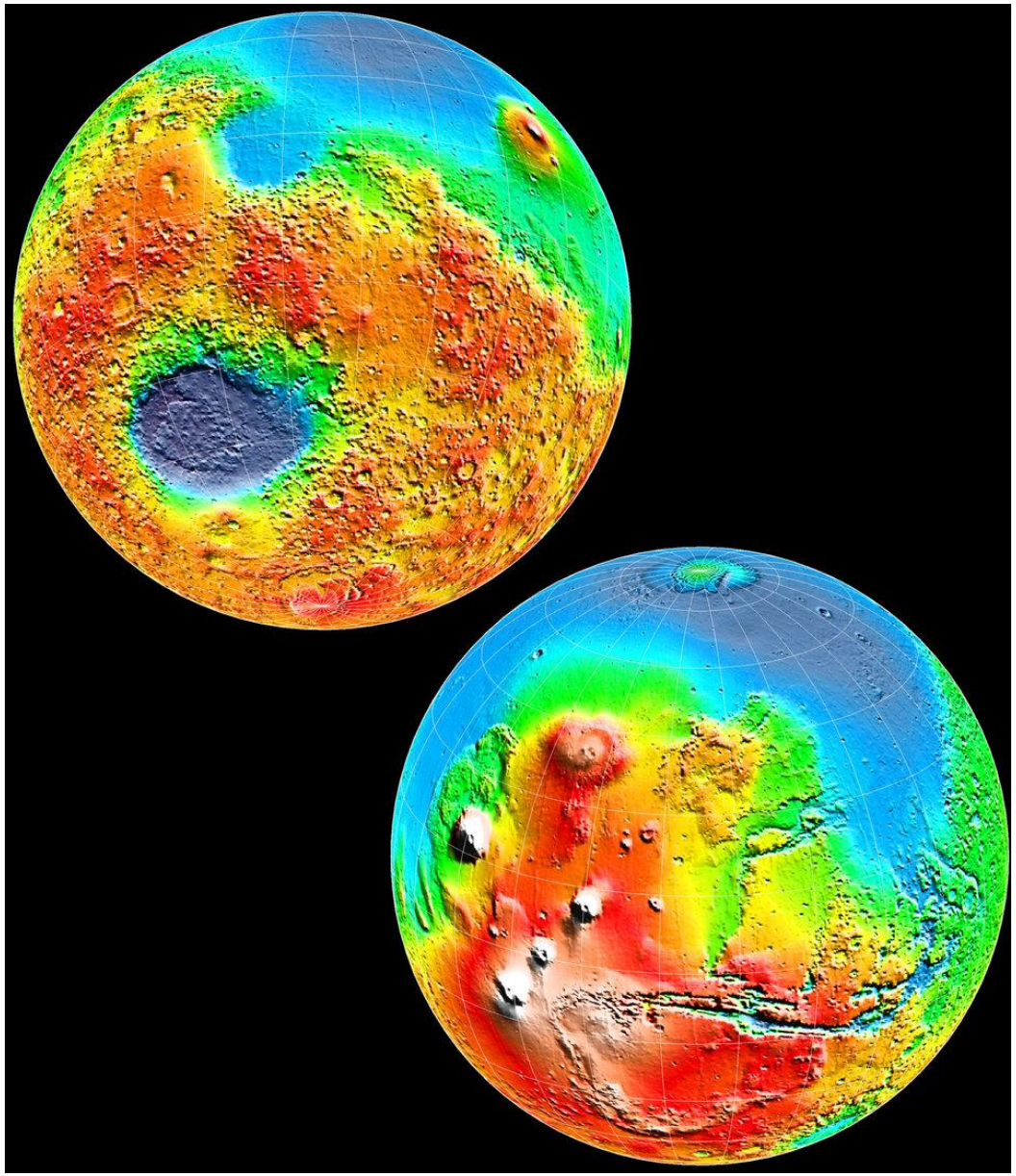


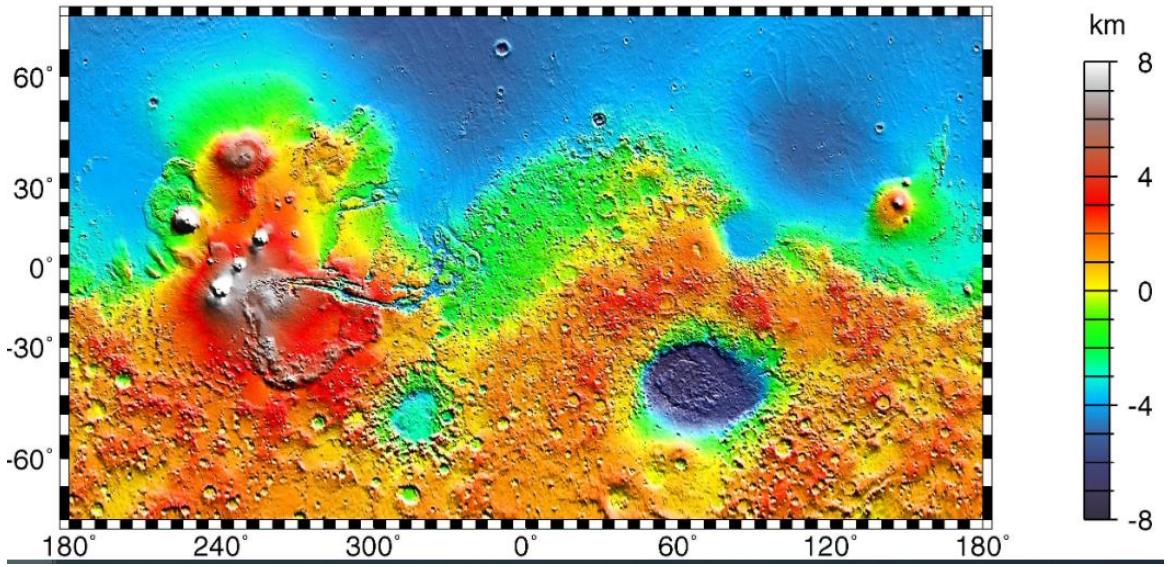
Tettonica a placche

Nessuna tettonica a placche (fratture dovute alla contrazione del raffreddamento). La temperatura interna probabilmente non è sufficiente ad azionare i moti convettivi.

Nuove teorie ipotizzano che un tipo di tettonica a placche nota come ***tettonica verticale*** abbia costretto la crosta del pianeta a collassare nel mantello. Potrebbe spiegare il perché i livelli di silice dei vulcani marziani siano più alti rispetto al resto del pianeta, costituito principalmente da basalto.

Caratteristiche fisiche





Dicotomia netta tra i due emisferi:

Emisfero sud: superficie mediamente più alta del nord, presenza di montagne, crateri, valli, canyon

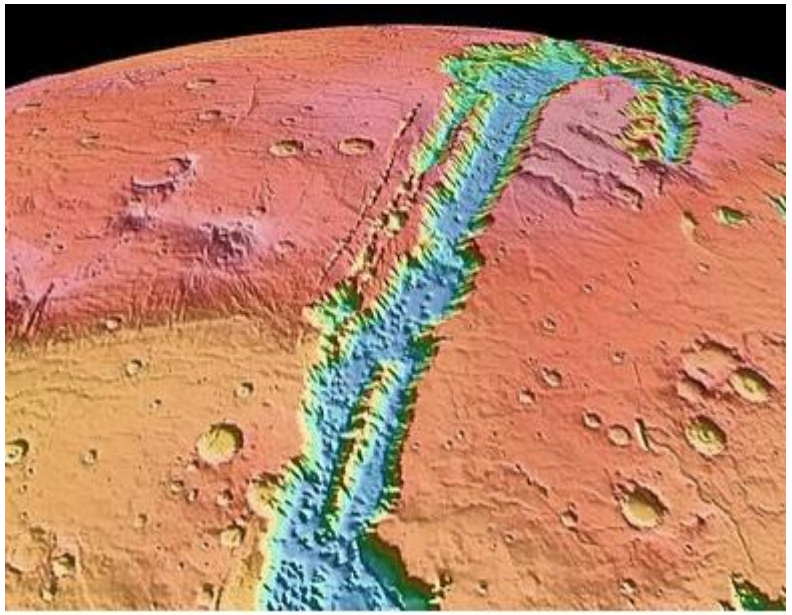
Emisfero nord: zona pianeggiante con pochi crateri e assenza totale di montagne. Possibile presenza di un grande oceano chiamato Oceanus Borealis.

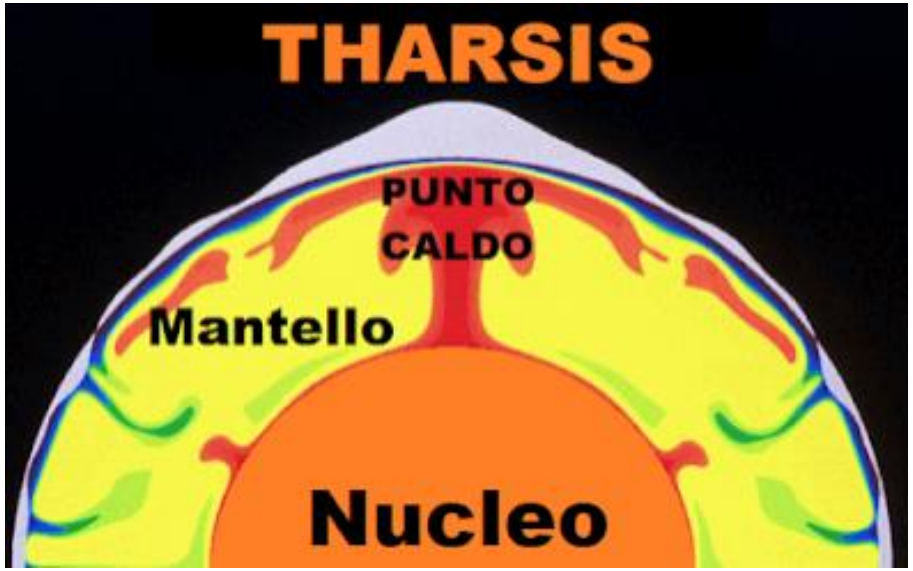
Una teoria delle tante giustifica questa situazione attribuendo la collisione del pianeta con un oggetto di dimensioni pari a quelle di Plutone avvenuta circa 4 miliardi di anni fa.

Caratteristiche fisiche

Formazione di Valles Marineris

Si ritiene che la sua formazione sia strettamente legata alla formazione del rigonfiamento di Tharsis . La crosta alla fine non riuscì più a reggere Tharsis e si formarono fratture radiali, tra cui anche la Valles Marineris.





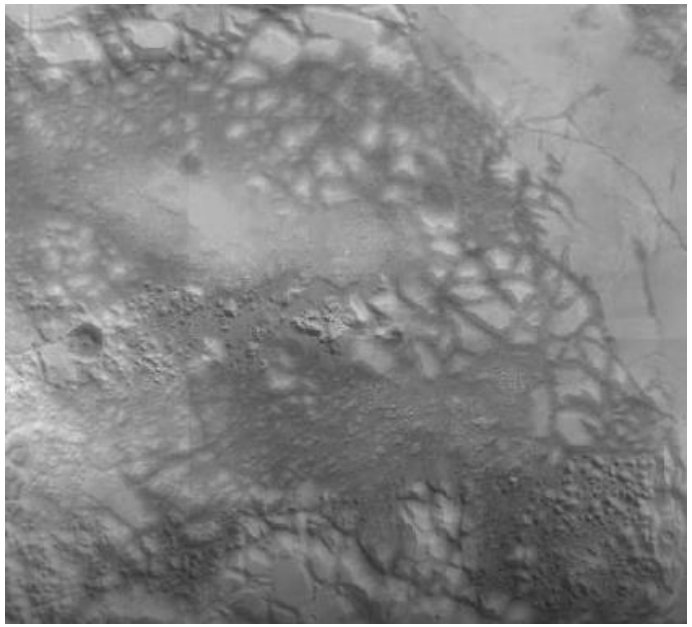
Vulcanismo

Il vulcanismo è di tipo hot spot. Il magma risale lungo il punto caldo e risale in camere magmatiche sempre nello stesso punto non essendoci tettonica a placche ed è per questo che i vulcani sono molto alti ed estesi. Oggi non ci sono tracce di vulcanismo attivo su Marte.

Caratteristiche fisiche

Aureole

Le zone circostanti l'Olympus Mons presentano una sorta di "aureola" che si estende dalla base del vulcano per centinaia di chilometri. Questa aureola, unica in tutto il pianeta, a sua volta, circonda la "scarpata basale" del vulcano. Si tratta di enormi frane confluite nelle pianure circostanti. L'accumulo è caratterizzate da rughe. La lava scorsa lungo le pendici incontrando acqua e ghiaccio presenti nel basamento avrebbe sciolto il ghiaccio facendolo scorrere su enormi distanze. Altra ipotesi è che si tratterebbe di frane sottomarine, che avrebbero percorso lunghissime distanze a causa dell'effetto lubrificante dell'acqua dell'Oceano Borealis.



Particolare di
Arsinoes
Chaos

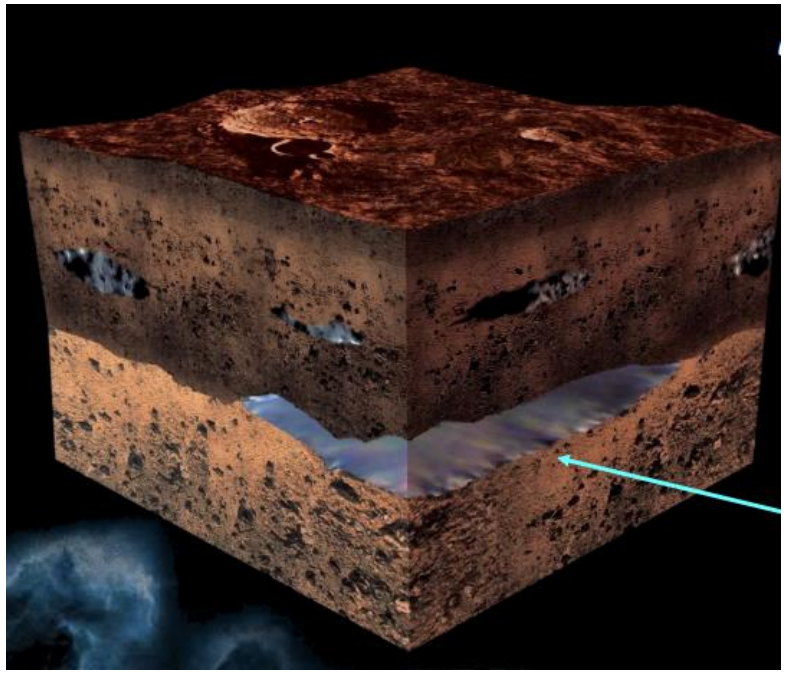
Strani terreni ghiacciati

Si trovano sul pianeta diverse aree chiamate chaos, soprattutto nella zona E di Valles Marineris. Queste regioni peculiari non hanno un corrispettivo sulla Terra. Sono costituite da blocchi poligonali. Sembra che l'acqua abbia giocato un ruolo molto importante nella loro formazione. Il ghiaccio presente si sarebbe sciolto, una volta drenata l'acqua la superficie sarebbe collassata. Una nuova ipotesi sarebbe legata a processi vulcanici di intrusione di massa lavica e successivo svuotamento con collasso calderico.

Caratteristiche fisiche

Presenza di acqua

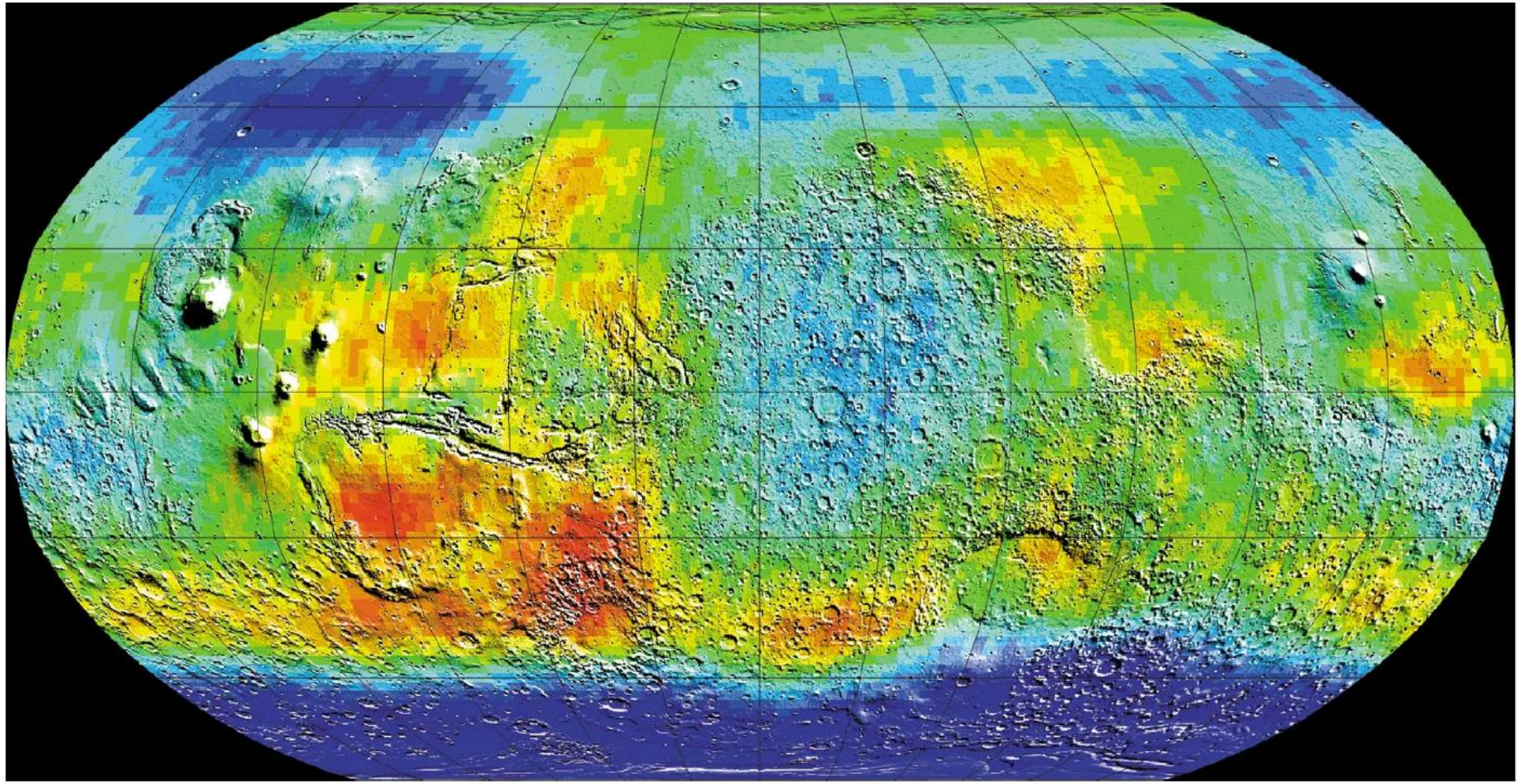
Si ritiene che l'acqua sia intrappolata sotto la criosfera
Ghiaccio d'acqua abbondante (poli ricoperti e permafrost fino a latitudini di 60°)
La sonda Phoenix nel 2008 trova ghiaccio d'acqua
Acqua era presente allo stato liquido e in abbondanza (formazione di canali, delta, laghi e mari) nelle fasi iniziali della storia del pianeta. Adesso è impossibile trovare acqua liquida a causa della pressione atmosferica molto bassa, può esistere solo come ghiaccio e sotto forma di vapore.
Acqua allo stato liquido è stata osservata sotto forma di piccoli ruscelli che si formano periodicamente, o in alcune zone dove sono presenti profonde depressioni altimetriche dove è possibile la presenza di acqua liquida.
Acqua salata allo stato liquido è stata trovata sotto la calotta australe da Mars Express con le analisi radar condotte tra 2012 e il 2015.
Ghiaccio di CO_2 presente. Sembra che il ghiaccio di CO_2 crei delle vere e proprie nevicate al polo sud. La CO_2 allo stato liquido non sembra sia presente.



Acqua elemento base per lo sviluppo della vita

Caratteristiche fisiche

Mappa globale del pianeta Energia intermedia



Mappa in neutroni epitermici (energia intermedia), dati raccolti dalla navicella spaziale Mars Odyssey, 2001. Odyssey ha mappato la posizione e le concentrazioni dei neutroni espulsi dalla superficie marziana dai raggi cosmici in arrivo. Aree blu intenso alle alte latitudini segnano i livelli più bassi di neutroni, interpretati come indicativi della presenza di alti livelli di idrogeno. L'arricchimento di idrogeno, a sua volta, suggerisce la presenza di grandi serbatoi di ghiaccio d'acqua sotto la superficie.

Caratteristiche fisiche

C'era un oceano su Marte?

Probabile passato molto diverso
Pianeta geologicamente attivo con attività vulcanica, e sottoposto a numerosi impatti di meteoriti
Conseguenze a questi processi:

- atmosfera spessa e densa, condizioni ideali per lo sviluppo di mari e oceani
- ciclo completo dell'acqua con associate precipitazioni
- effetto serra marcato con aumento della temperatura

Cause del cambiamento:

- Equilibrio instabile del pianeta
- Progressivo raffreddamento dell'interno con cessazione del vulcanesimo
- Progressiva perdita dell'atmosfera
- Fluttuazioni repentine dell'asse di rotazione
- Impatti meteorici meno frequenti

Risultato:
Pianeta deserto e freddo

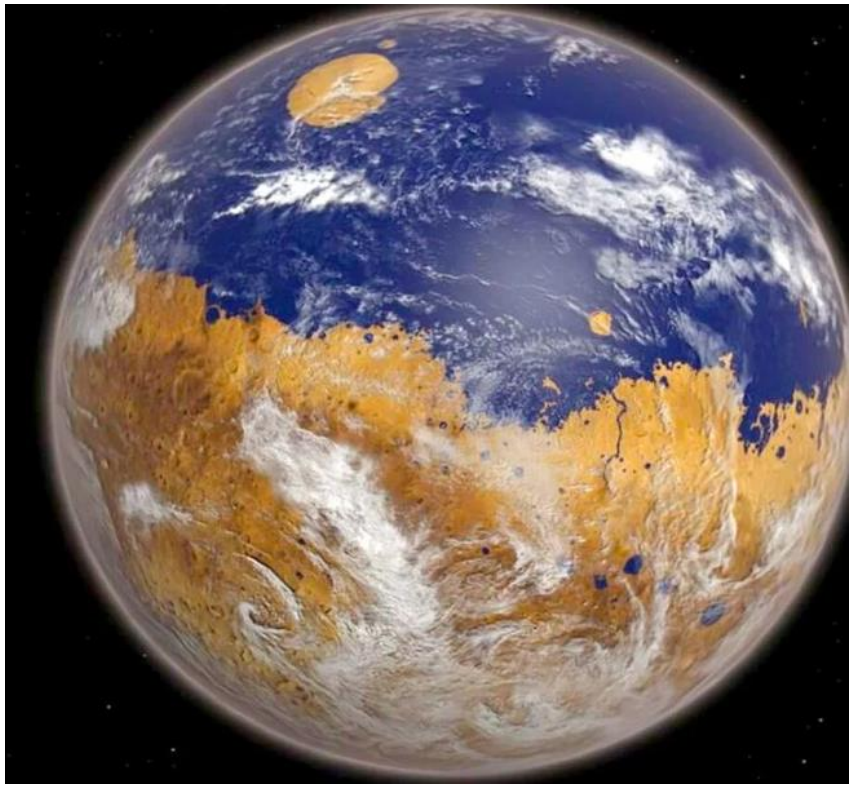


Immagine: Wikimedia Commons

Caratteristiche fisiche

C’è o c’è stata vita?

Frammento del meteorite ALH 84001 dove sono visibili le strutture a catena di possibile origine biologica

Il 16 agosto 1996 la rivista Science annunciò la scoperta di prove concrete che suggeriscono l'esistenza della vita su Marte nel meteorite ALH 84001.Rinvenuto presso le Allan Hills in Antartide e risulta uno dei 12 meteoriti rinvenuti sulla Terra che presentano le caratteristiche chimiche peculiari del suolo marziano. Dopo un'analisi approfondita si ritenne ragionevole affermare che in un periodo tra i 4 e i 3,6 miliardi di anni fa (periodo in cui il pianeta si presentava più caldo e umido) su Marte erano presenti forme di vita molto simili ai nanobatteri presenti sula Terra, anche se attualmente la teoria non è da tutti accettata e ci sono pareri discordanti.

Il rover della NASA Curiosity (2012) ha osservato una miscela di isotopi di carbonio nelle rocce del cratere Gale che, se riscontrati sulla Terra, sarebbero segni di vita. Il rover ha inoltre registrato picchi sia casuali che stagionali di metano, un gas che sulla Terra viene prodotto prevalentemente da attività di tipo biologico.
A circa 3.700 km di distanza, nel cratere Jezero, il rover della NASA Perseverance (2021) ha riscontrato strani strati di colore viola che rivestono le rocce alla base del cratere. Questa patina è diffusa e assomiglia alla cosiddetta “vernice del deserto” che sulla Terra cresce in presenza di microrganismi.

Per il momento, tuttavia, gli scienziati non sono pronti ad affermare che il nostro vicino color vermiglio una volta fosse abitato. Quasi tutti gli indizi affascinanti che rimandano alla biologia possono essere spiegati anche con alcuni aspetti finora poco noti della geologia o della chimica di Marte – c’è ancora tanto che non sappiamo sul funzionamento del pianeta e su come fenomeni non viventi potrebbero sembrare tracce di vita. Il prossimo passo per confermare la presenza di vita su Marte è riportare campioni del pianeta da analizzare nei laboratori terrestri, dove sono disponibili gli strumenti più all’avanguardia per cercare risposte a una delle più antiche domande dell’umanità.

Missioni spaziali

- 1964 passaggio in prossimità di Marte del Mariner 4 della NASA.
- 1971 grazie ai sovietici Mars 2 e 3 che però perdono i contatti con la Terra pochi minuti dopo.
- 1975 NASA lancia il programma Viking consistente in due satelliti orbitanti con un modulo di atterraggio che **raggiungono il suolo nel 1976**. Il Viking 1 rimane operativo per sei anni mentre il Viking 2 per tre.
- 1988 i moduli sovietici del Programma Phobos (Phobos 1 e Phobos 2) sono inviati per lo studio di Marte.
- 1992 invio del Mars Observer ma la missione fallisce e la NASA invia nel 1996 il Mars Global Surveyor; la missione di mappatura è un completo successo e termina nel 2001.
- 1996 Mars Pathfinder, sempre inviato dalla NASA, con a bordo il robot da esplorazione Sojourner, atterra nell'Ares Vallis; anche questa missione è un successo e diventa famosa per le immagini che invia sulla Terra.
- 2001 la NASA invia il satellite Mars Odyssey e trova grande quantità di idrogeno probabilmente contenuto in depositi di ghiaccio
- 2003 l'ESA lancia il Mars Express Orbiter
- 2004 due rover gemelli Spirit e Opportunity lanciati dalla NASA, raggiungono il suolo marziano con successo. Nel 2010 si perdono i contatti con Spirit, mentre nel 2018 quelli con Opportunity. La missione porta alla scoperta di acqua allo stato liquido nel passato di Marte.
- 2005 è la volta del Mars Reconnaissance Orbiter della NASA, che arriva a destinazione il 10 marzo 2006 per una missione di due anni.
- 2007 il Phoenix Mars Lander raggiunge il polo nord marziano il 25 maggio 2008, NASA.

Missioni spaziali

- 2012 atterra su Marte il rover Curiosity, NASA.
- 2013 lanciato Mars Orbiter Mission, nota anche con la denominazione informale di Mangalyaan, è la prima missione per l'esplorazione di Marte dell'Indian Space Research Organisation (ISRO).
- 2013 la sonda MAVEN è stata lanciata con successo, NASA.
- 2016 l'ESA lancia il Trace Gas Orbiter (TGO) e il Lander Schiaparelli, parte della missione ExoMars.
- 2018 è stata lanciata la missione statunitense InSight con un lander e due CubeSat.
- 2020 missione della NASA Mars 2020 atterra il rover Perseverance nel febbraio 2021
- 2020 L'agenzia spaziale cinese con la missione Tianwen-1 ha inviato una sonda complessa, comprensiva di orbiter, lander e del rover Zhurong, con in dotazione un radar di profondità per mappare la crosta marziana fino a una profondità di 400 metri.
- 2020 Emirates Mars Mission è la prima missione verso Marte degli Emirati Arabi Uniti; la sonda, denominata Hope, ha l'obiettivo di studiare l'atmosfera marziana e il suo clima.

Sono state programmate diverse missioni che si dovevano svolgere a partire dal 2022 ma sono state tutte rinviate a causa di diversi problemi.

Missioni spaziali

Sono 10 le sonde marziane oggi attive o con missioni chiuse da poco

2001 Mars Odyssey

2003 Mars Express

2005 Mars Reconnaissance Orbiter

2011 Curiosity

2013 Maven

2016 Trace Gas Orbiter

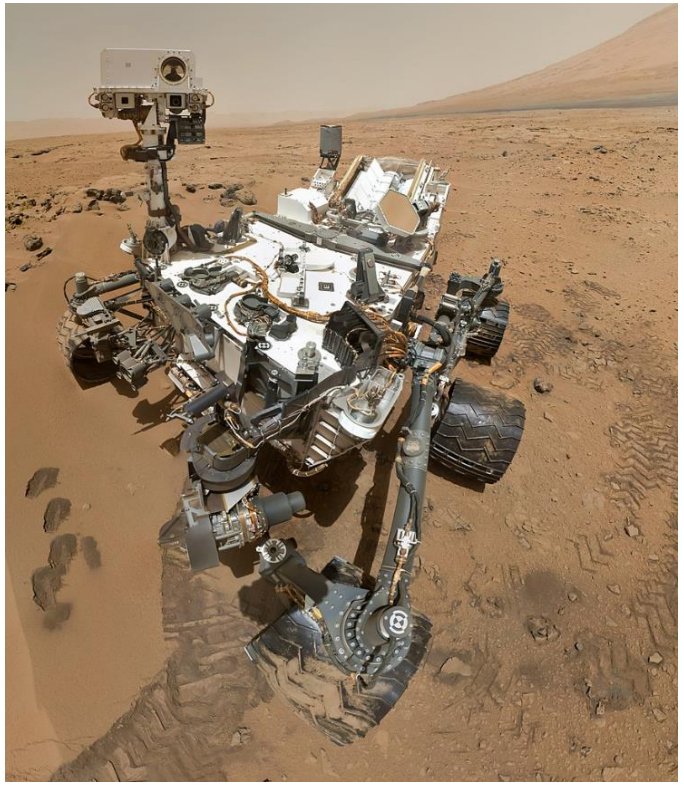
2021 Tianwen-1

2021 Mars Hope

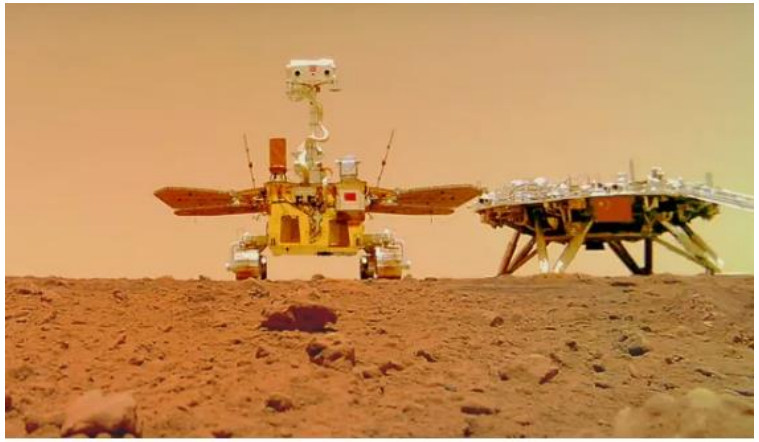
2021 Perseverance

2021 Ingenuity

Curiosity

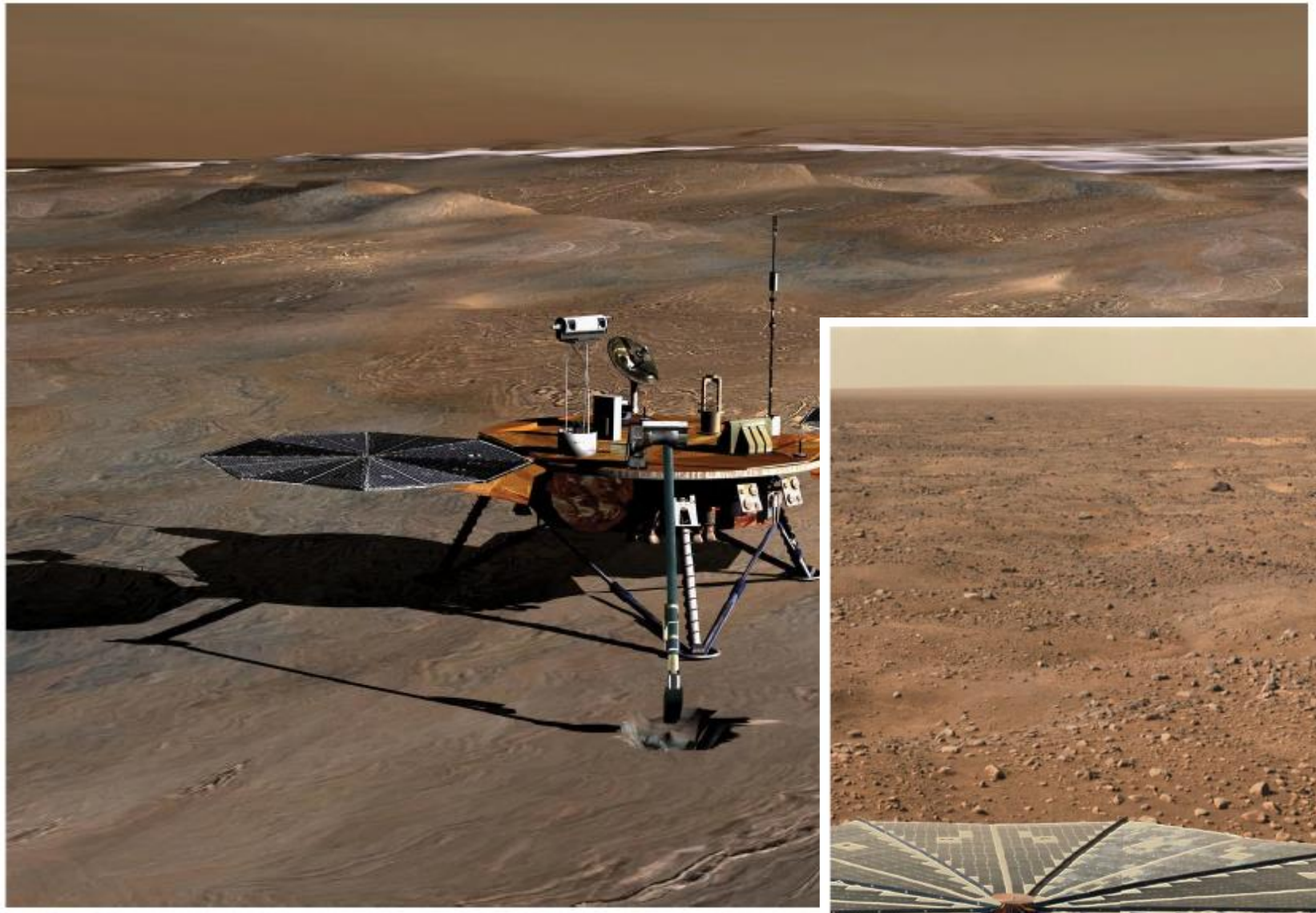


Tianwen-1

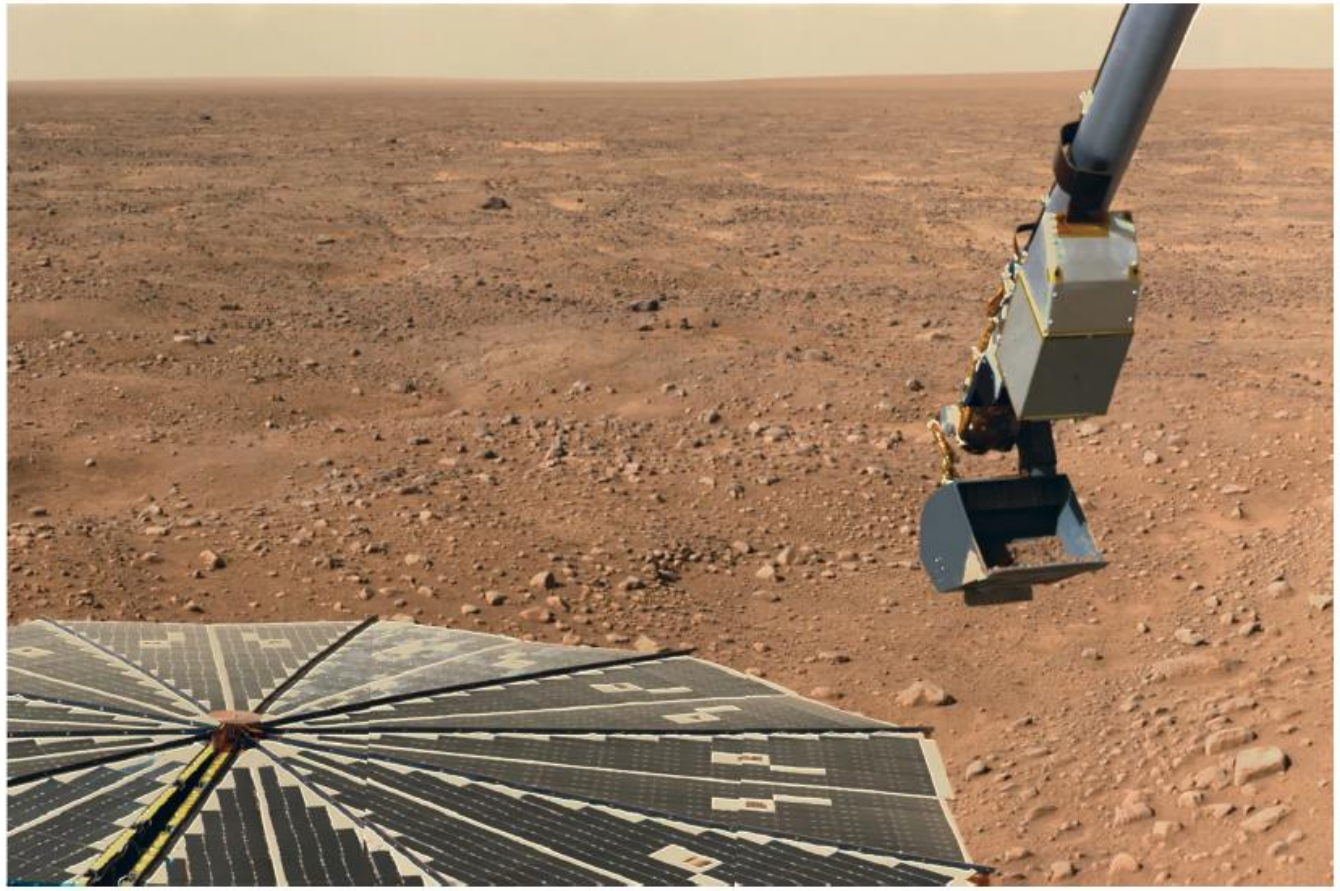


Ingenuity

Missioni spaziali

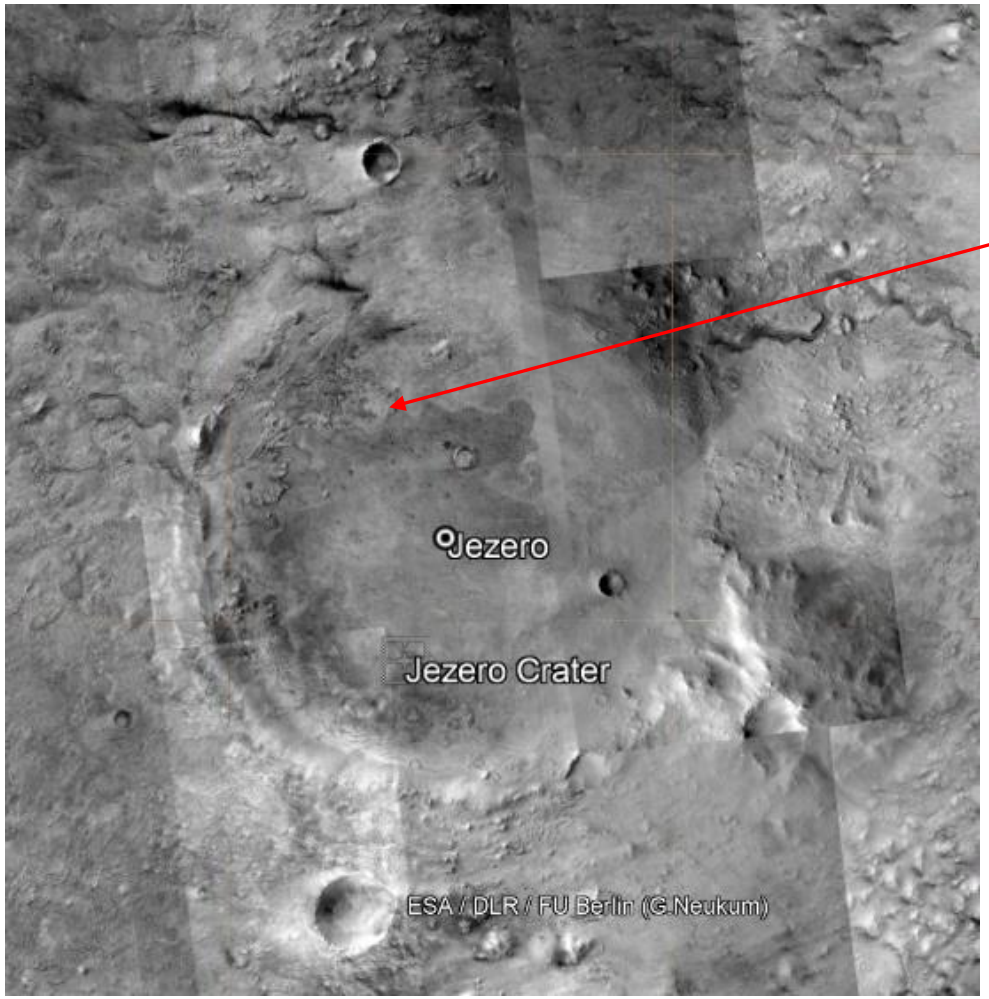


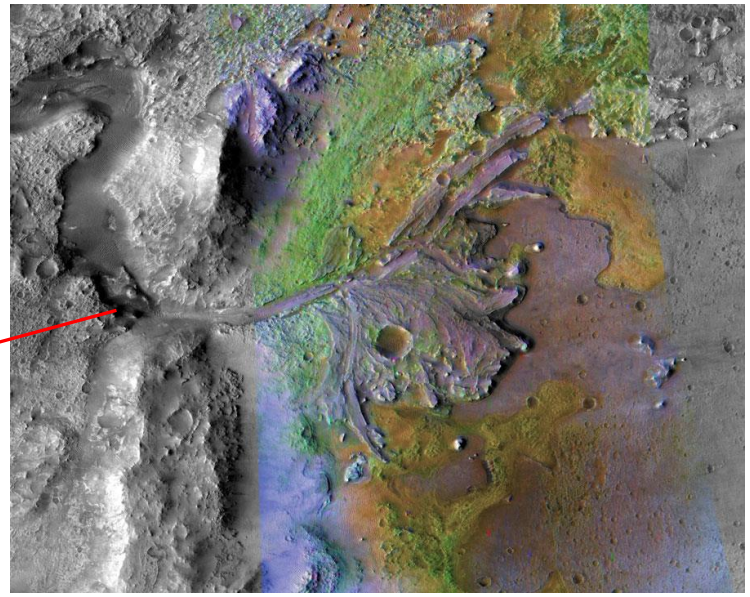
Sonda Phoenix space probe 1
anno 2008 con braccio meccanico per la raccolta di campioni



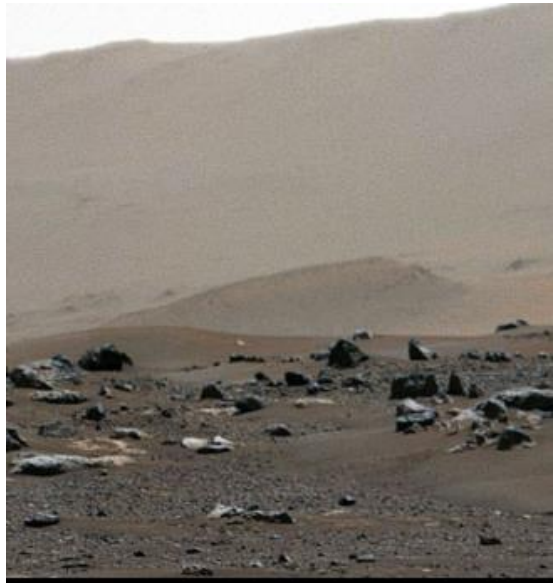
Missioni spaziali

Rover Perseverance
cratere Jezero 21 febbraio 2021
Scopo ricerca di vita





Foce con delta



Nel cratere gli scienziati pensano ci sia stato un grande lago

Missioni spaziali

Nei prossimi anni le spedizioni verso il pianeta saranno al centro dei nostri viaggi

L'idea di vivere su Marte è al momento complicata: ci vogliono al momento circa 6 mesi per raggiungere il pianeta

L'atmosfera e il vento solare sono distruttive per la vita umana

I principali ostacoli da superare non sono solo tecnologici, ma legati alla fisiologia umana: • La mancanza prolungata di gravità provoca: • Decalcificazione delle ossa • Perdita di tonicità della muscolatura • Accumulo di liquidi nelle parti superiori del corpo • Diminuzione della capacità cardiaca • L'esposizione alle radiazioni può aumentare il rischio di tumori e di danni al cervello • L'isolamento in una navicella per mesi a tragitto e lontana milioni di km da Terra può avere effetti non ancora mai esaminati sulla psiche degli astronauti

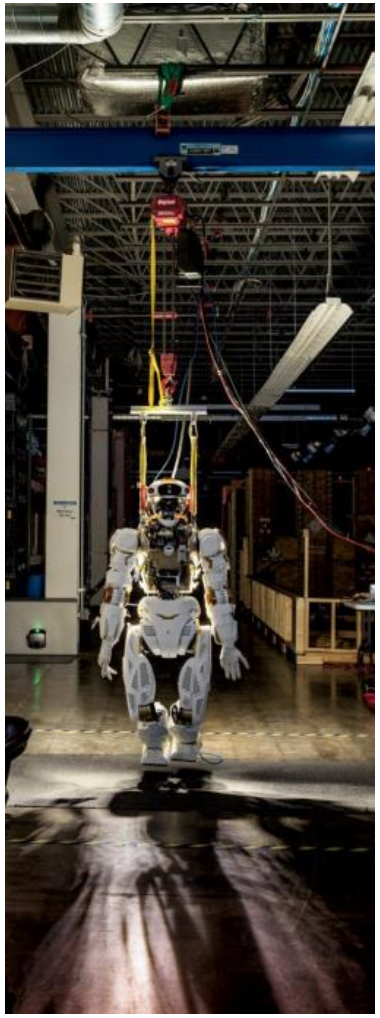
Il primo a lasciare le sue impronte su Marte potrebbe essere un robot denominato Valkyrie e sviluppato dalla Nasa: i robot potrebbero costruire su Marte una base per i futuri viaggi umani.

Il più realistico progetto a oggi della NASA per trasferire uomini su Marte: la stima è che questo non possa avvenire prima del 2040

Tutto questo però non significa rinunciare a sognare!

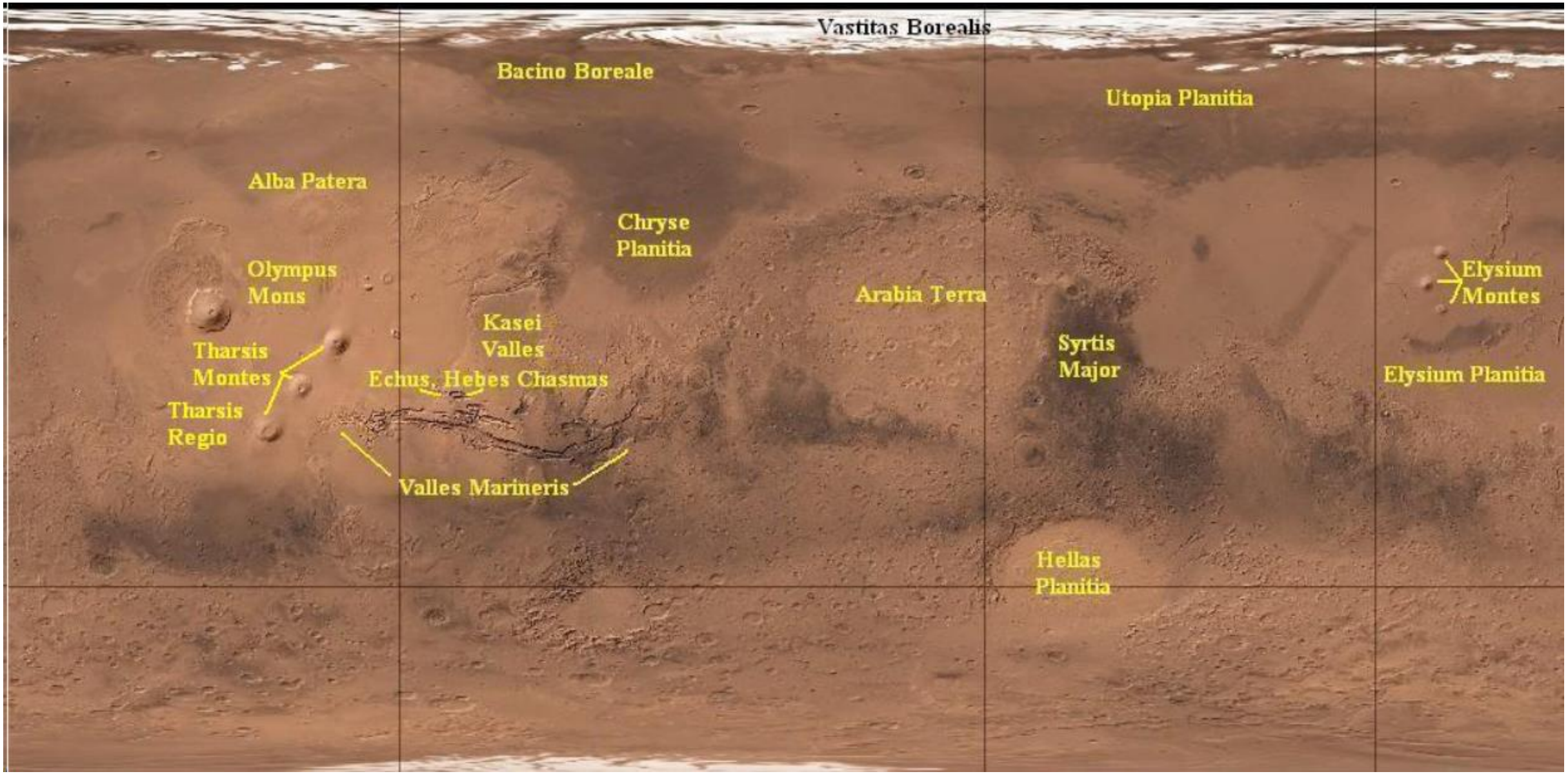
«Terra - la culla dell'umanità, ma non si può sempre vivere in una culla»

(Tsiolkovsky K. E., scienziato russo, pioniere dell'astronautica)



Caratteristiche morfologiche

Principali regioni del pianeta



Caratteristiche morfologiche

Dizionario dei termini più comuni utilizzati

CHAOS

Termine latino usato per indicare regioni sconnesse e caotiche presenti sulla superficie di corpi celesti; in esse la superficie appare frantumata in blocchi dai contorni irregolari a causa di un affondamento irregolare del terreno.

CHASMA

Parola latina, derivante dal greco, usata per indicare valli particolarmente scoscese o canyon presenti sulla superficie dei corpi celesti.

LABYRINTUS

Si tratta di una regione pianeggiante di un corpo celeste, attraversato da valli e canyons intersecantesi e orientate disordinatamente.

MENSA

Termine latino usata per descrivere una struttura geologica extraterrestre pianeggiante sopraelevata, simile ad un altopiano, ma i cui bordi laterali sono particolarmente ripidi.

MONS

Termine latino che indica dei rilievi presenti su un pianeta; si può trattare di monti isolati, di rilievi che circondano un cratere d'impatto o delle creste del cratere.

PATERA

Parola latina usata per indicare formazioni geologiche extraterrestri simili a crateri irregolari e con bordi smerlati.

PLANITIA

Parola latina che indica nei corpi celesti dei bassopiani, o comunque delle regioni prive di rilievi; molte di queste regioni sono grandi bacini d'impatto.

TERRA

Parola latina che usata per indicare vaste regioni o continenti presenti sulla superficie dei corpi celesti.

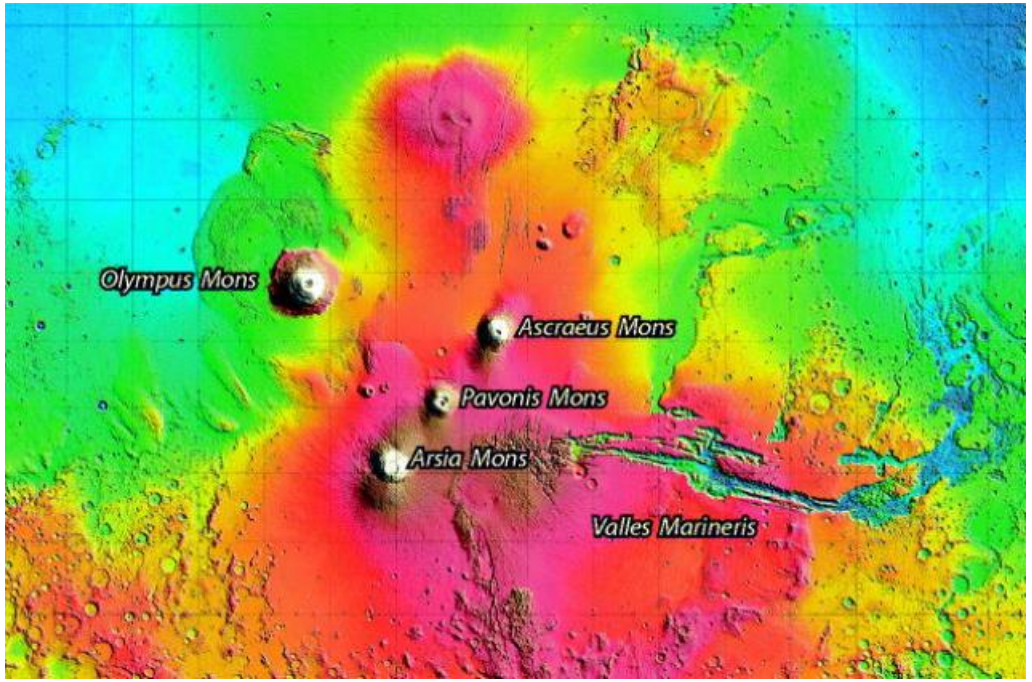
VALLES

Strutture geologiche di pianeti che ricordano le valli terrestri; possono essere canyons giganteschi, come strutture di piccole dimensioni.

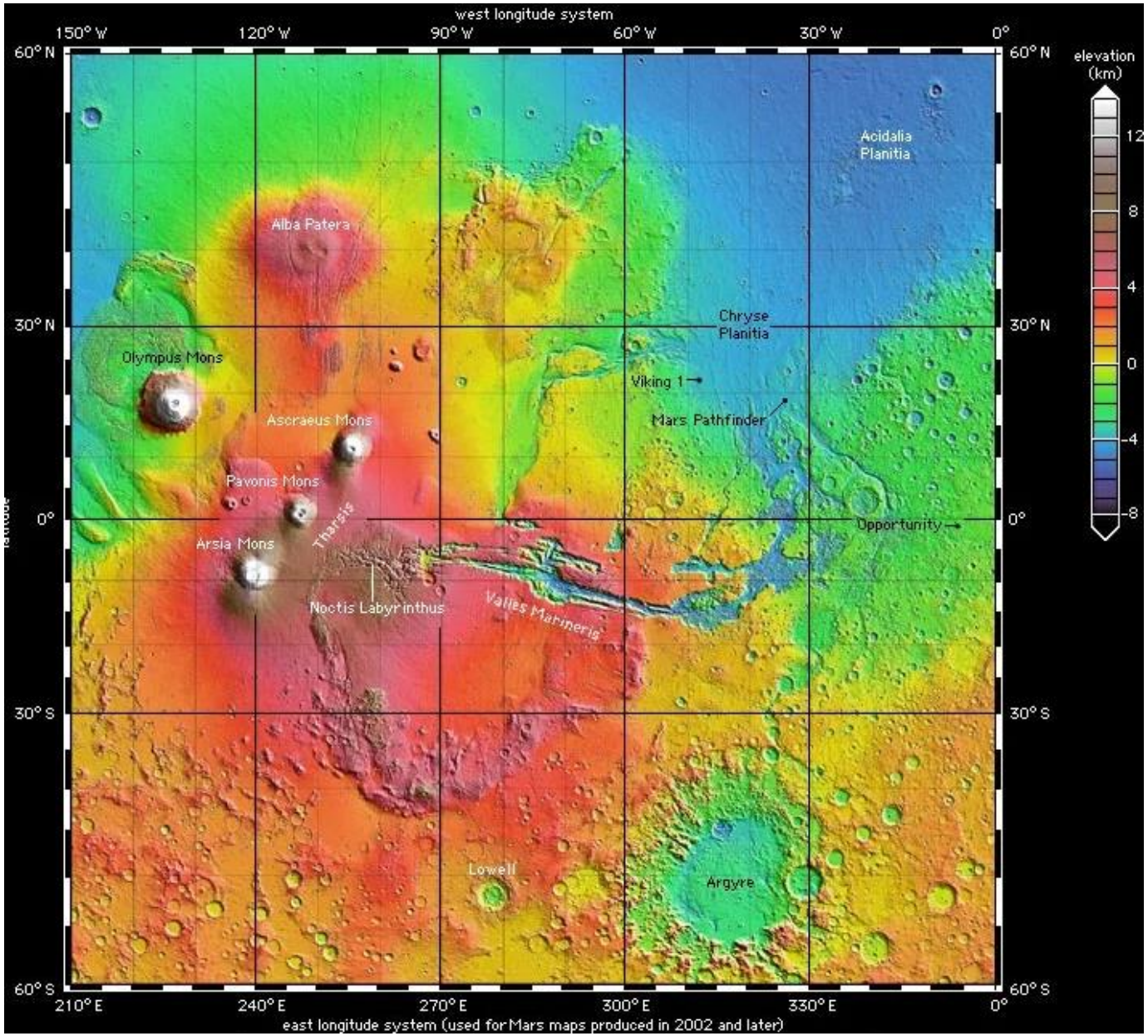
Caratteristiche mprfologiche

Regione Tharsis

Tharsis è un vasto altopiano vulcanico centrato vicino all'equatore nell'emisfero occidentale di Marte. La regione ospita i più grandi vulcani del Sistema Solare, inclusi i tre enormi vulcani a scudo **Arsia Mons, Pavonis Mons e Ascraeus Mons**, che sono noti collettivamente come Tharsis Montes.
Il vulcano più alto del pianeta, **Monte Olimpo**, si trova al bordo della regione.



Caratteristiche fisiche



Tharsis

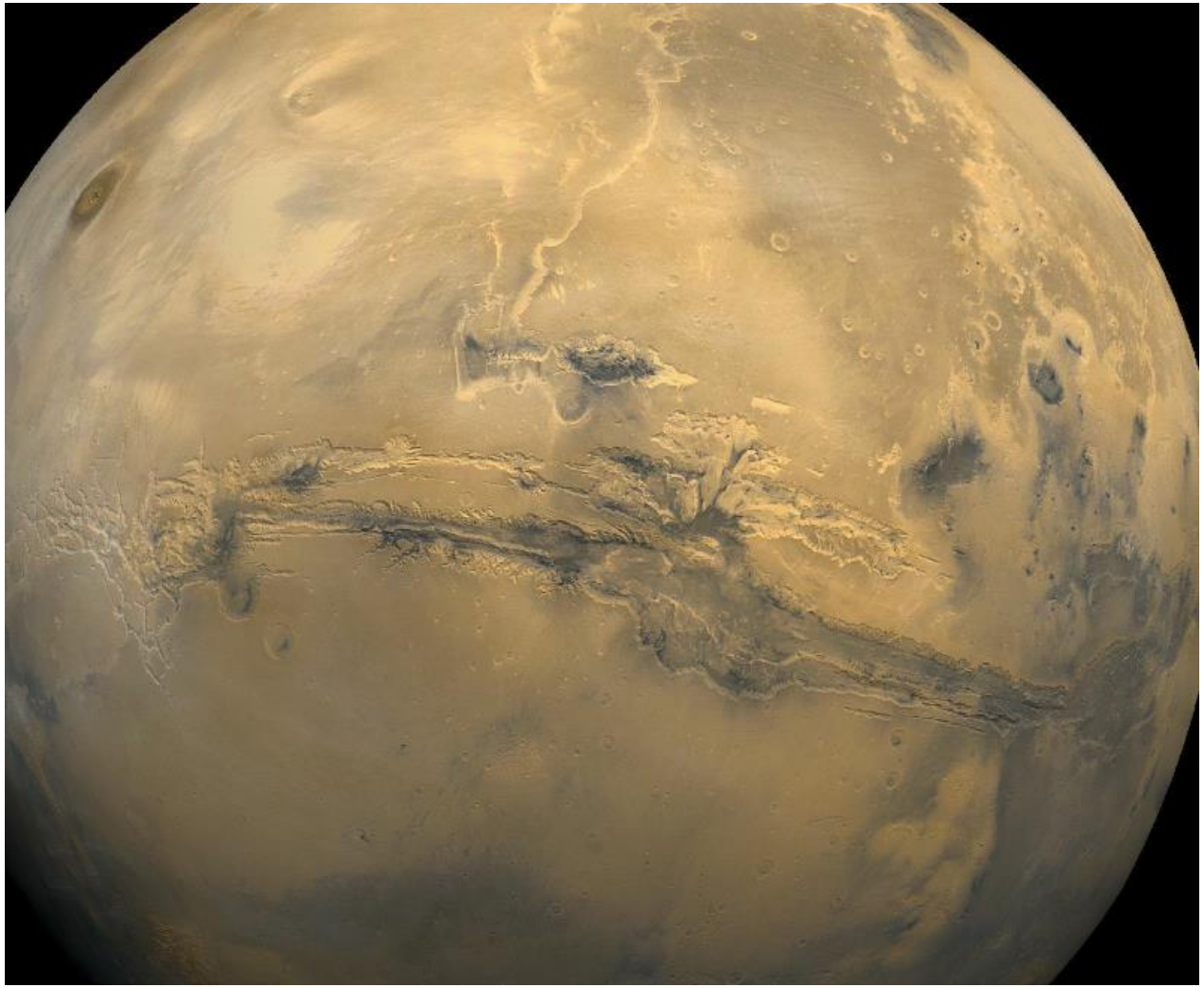
Mappa topografica della provincia di Tharsis realizzata con dati altimetrici ad alta risoluzione raccolti dalla navicella spaziale Mars Global Surveyor.

La vista (nord in alto) include l'altura Tharsis, i picchi vulcanici sopra e vicino all'altura e il sistema di canyon della Valles Marineris a est. Sono evidenziati anche i canali di deflusso che defluiscono da ovest e sud nella Chryse Planitia.

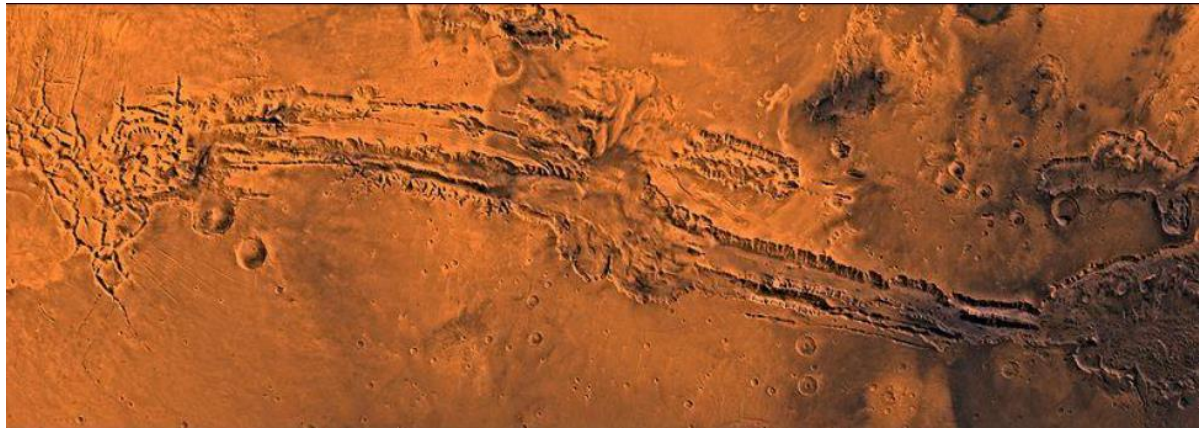
Caratteristiche morfologiche

Valles Marineris

Valles Marineris sono un vasto sistema di valli, situate nella zona equatoriale di Marte, nella parte orientale della regione di Tharsis.

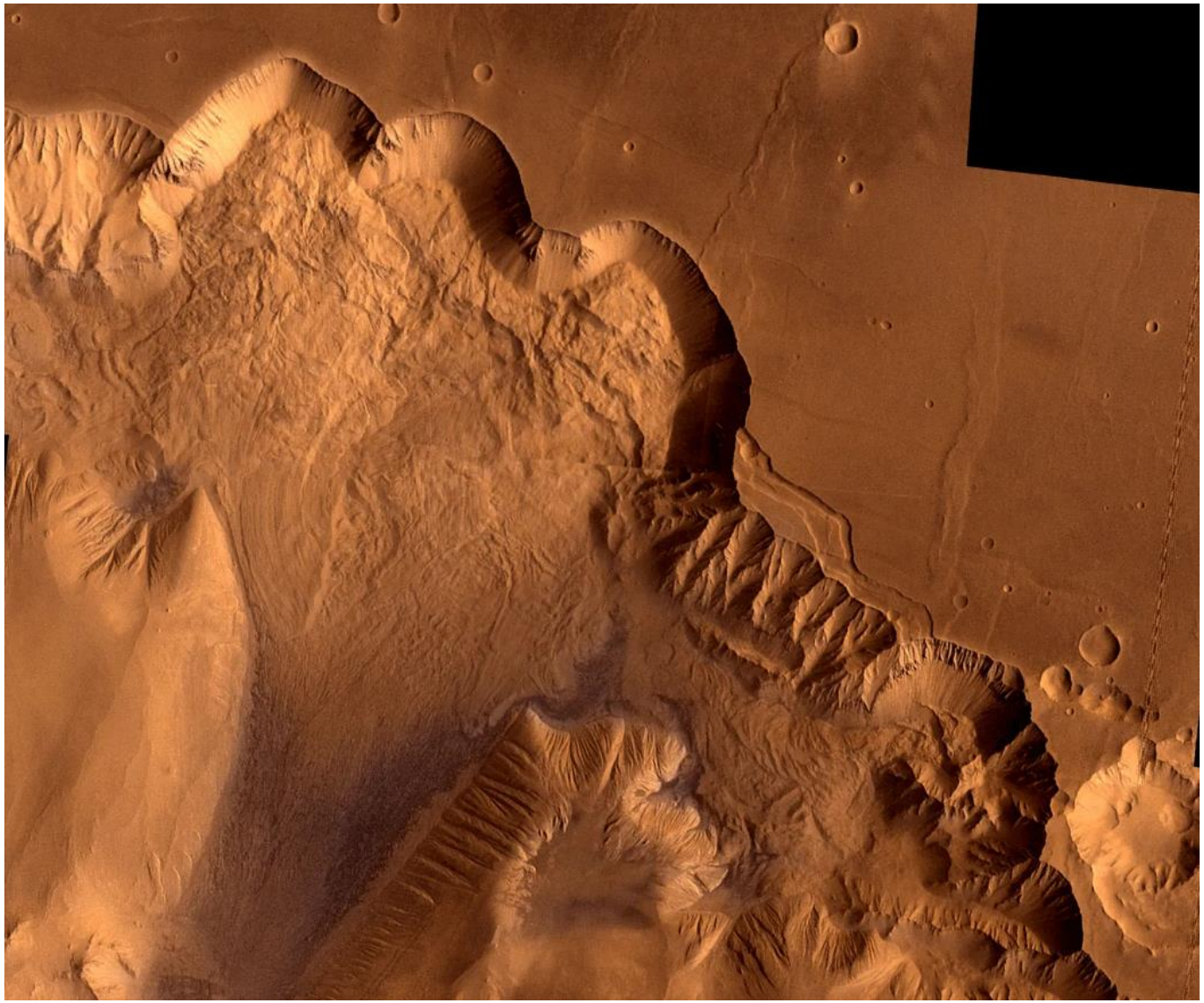


Le valli raggiungono complessivamente i 4000 km di lunghezza, i 700 km di larghezza ed una profondità di 11 km. È la più grande struttura conosciuta di questo tipo, e si estende per circa un quarto della circonferenza di Marte.

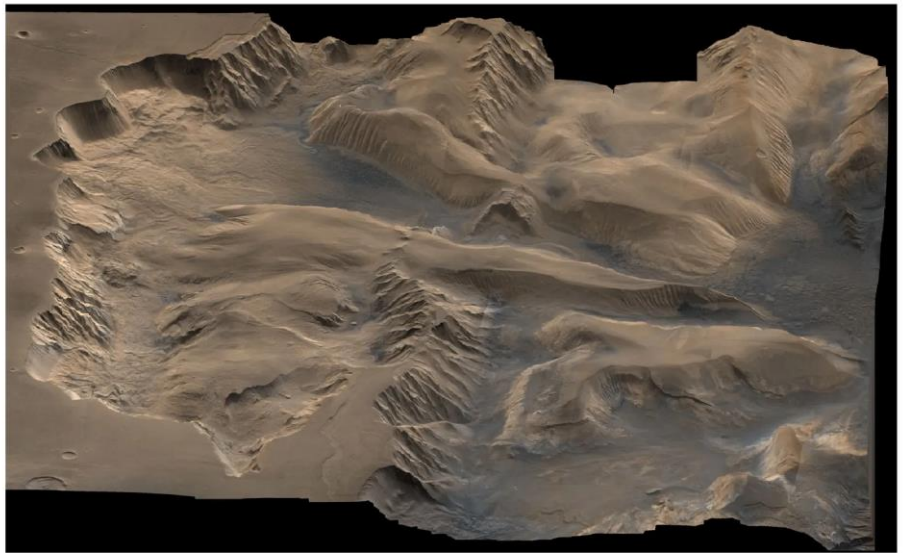


Caratteristiche morfologiche

Valles Marineris nord, Ophir Chasma



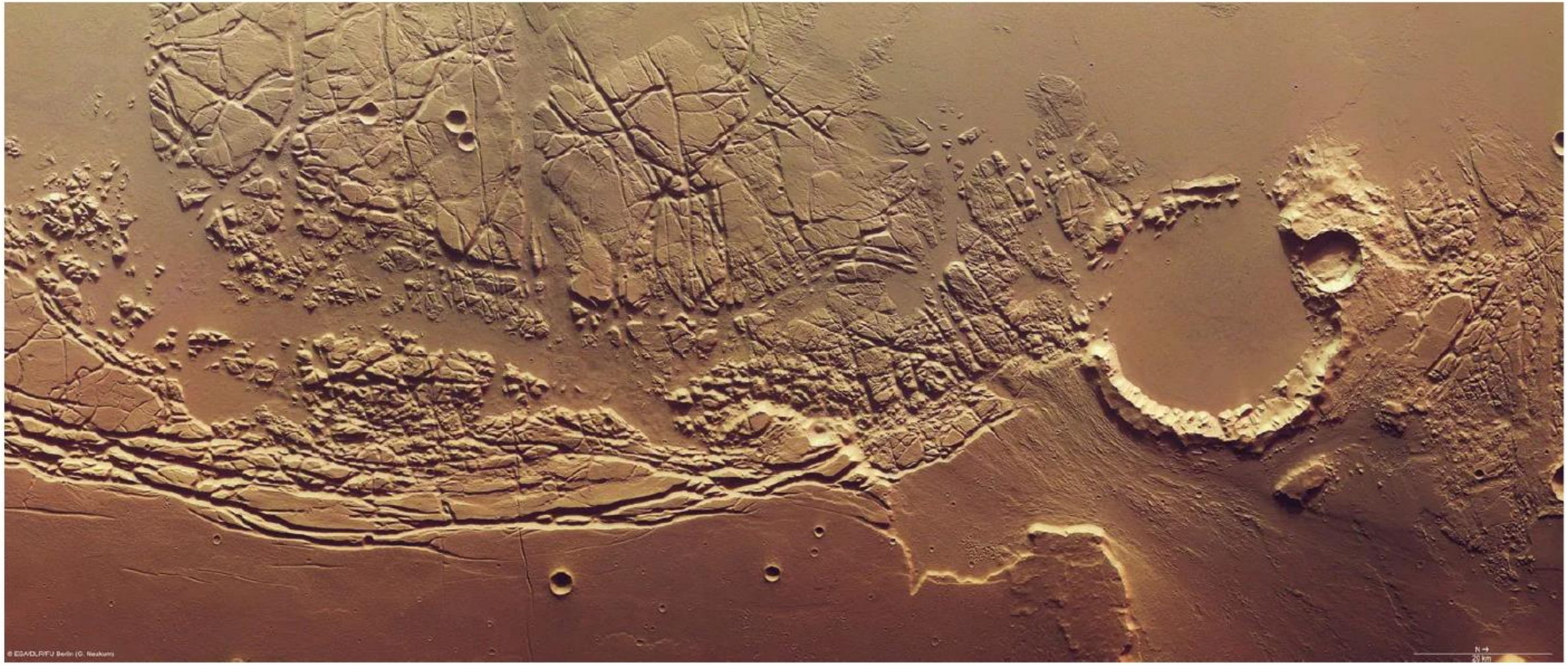
Le pareti della scarpata sono alte 4 km e sono state scavate dall'erosione e da gigantesche frane: l'area chiara in alto a sinistra è una frana larga circa 100 km. Questa immagine è un composto di immagini in bianco e nero ad alta risoluzione e a colori a bassa risoluzione scattate dalle navicelle Viking 1 e Viking 2.



Valle Marineris parte centrale

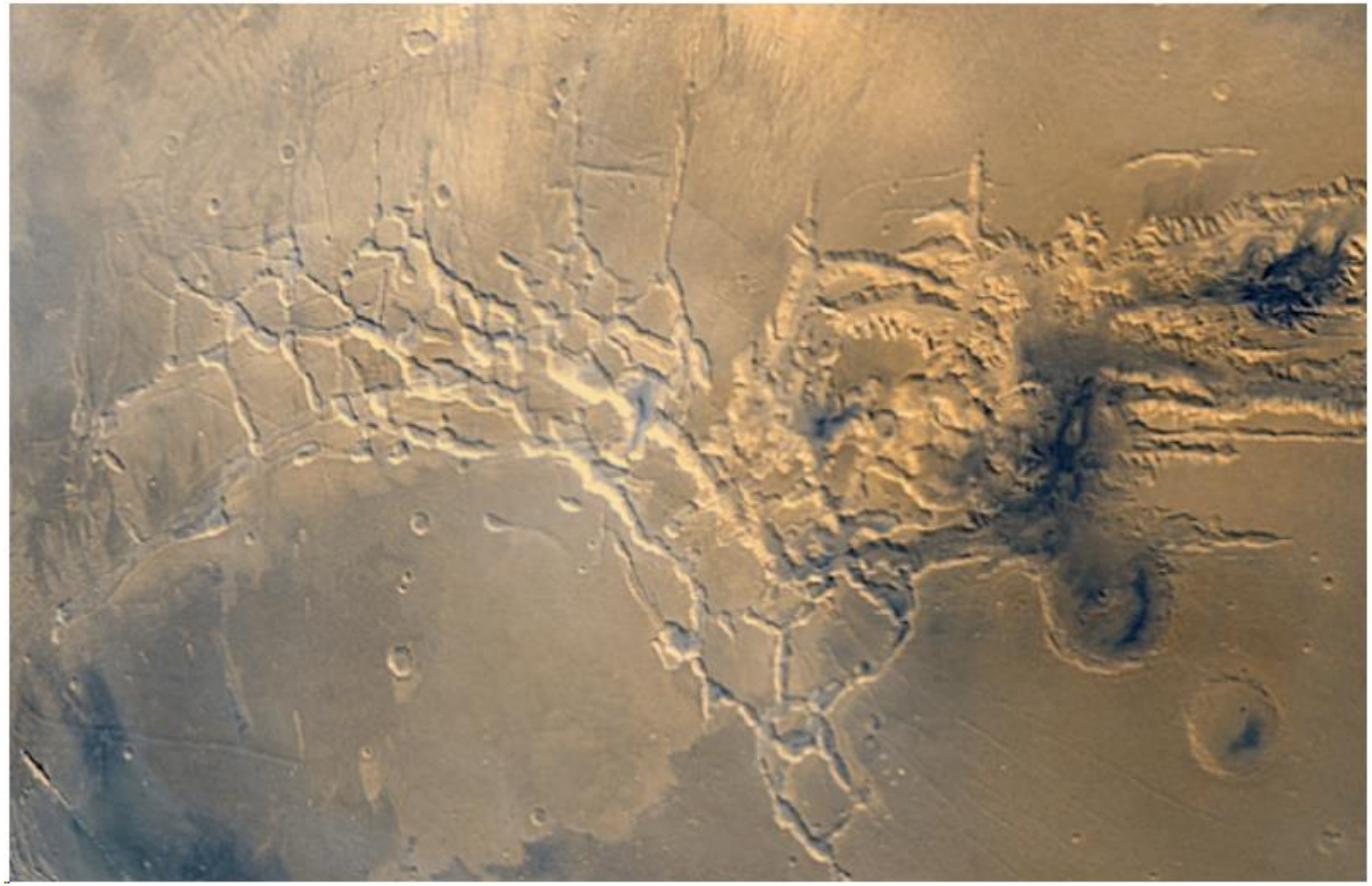
Caratteristiche morfologiche

Kasei Valles e Sacra Fossae



Affioramenti di roccia sedimentaria nella regione tra Kasei Valles e Sacra Fossae (immagine catturata da Mars Express, 11 novembre 2008). La zona si trova a N di Valles Marineris.

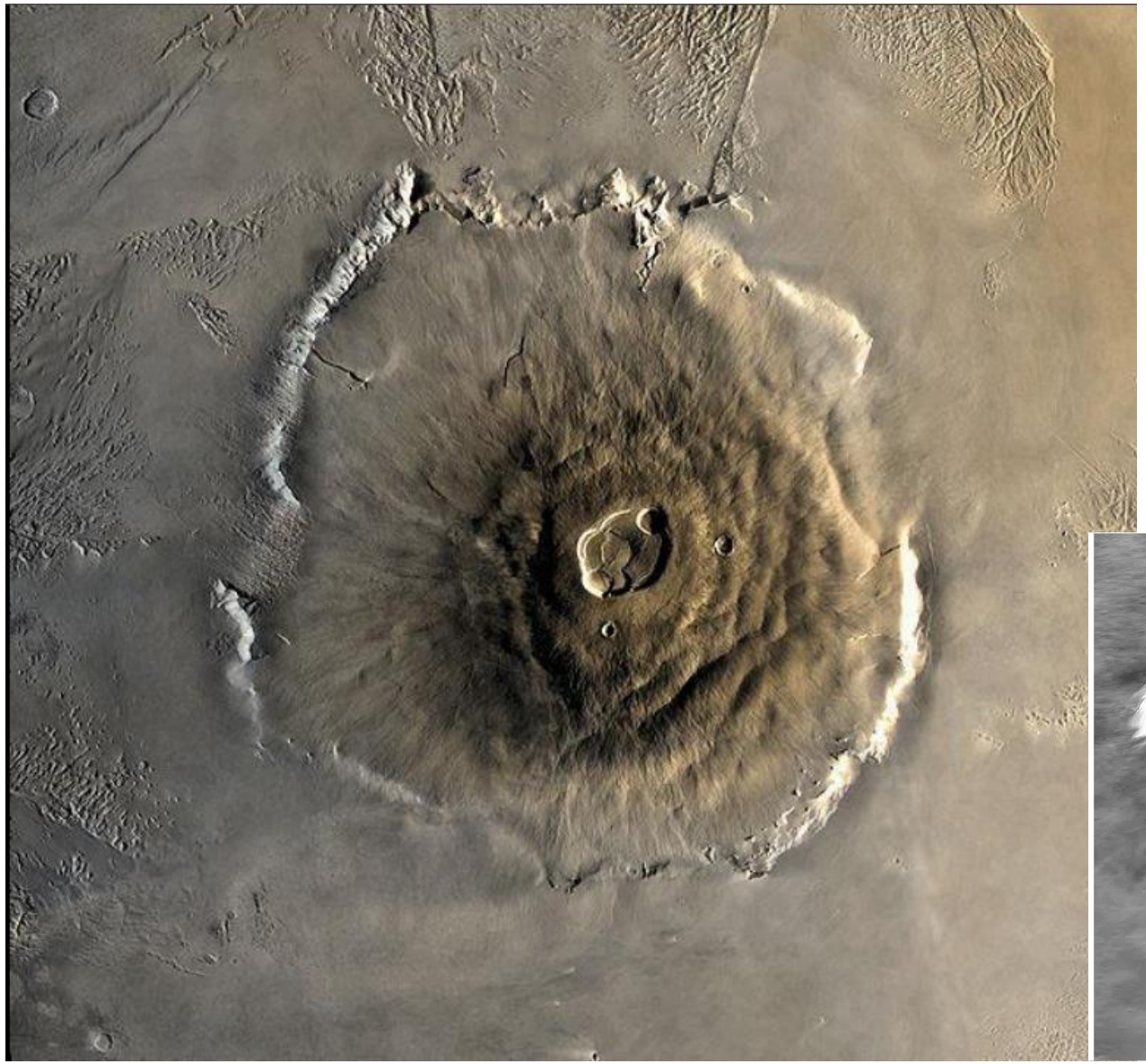
Caratteristiche morfologiche



Noctis Labyrinthus

E’ una regione di Marte tra Valles Marineris e l'altopiano di Tharsis
La regione è famosa per il suo sistema a labirinto di valli profonde e con pareti scoscese.
Le valli e i canyon di questa regione sono formati da faglie e molti mostrano caratteristiche classiche dei grabens, con la superficie piana dell'altopiano conservata sul fondovalle.
In alcuni punti i fondovalle sono più ruvidi, disturbati da frane , e ci sono luoghi in cui la terra sembra essere affondata in formazioni simili a fosse.
Si ritiene che questo sistema di faglie sia stato innescato dall'attività vulcanica nella regione di Tharsis.

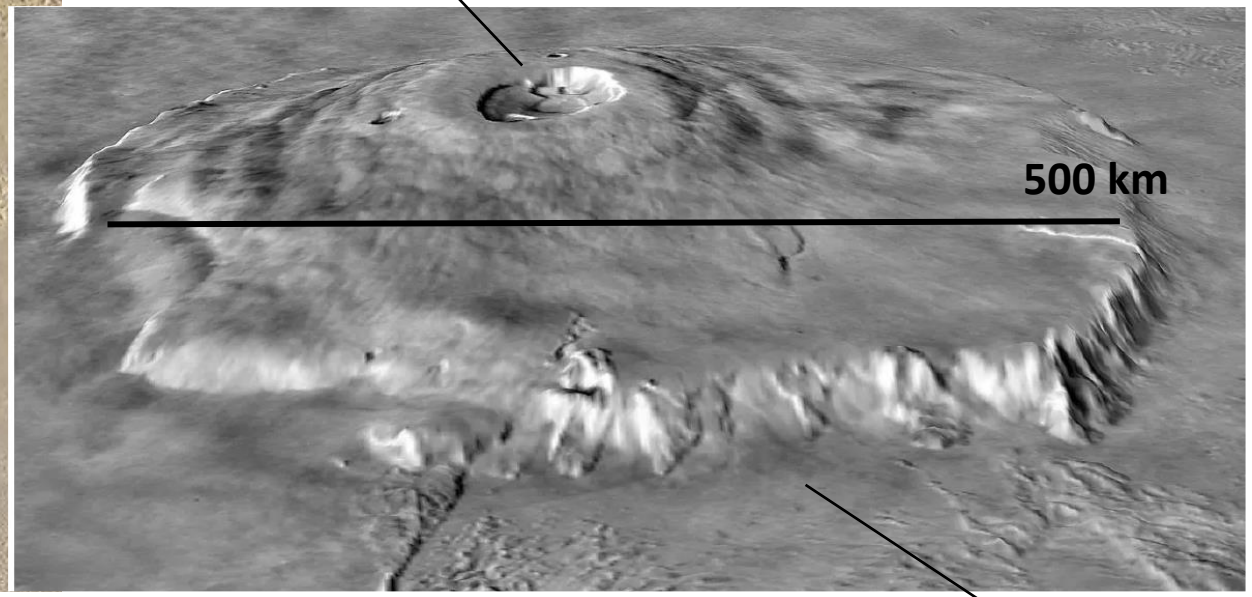
Caratteristiche morfologiche



Olympus Mons

Olympus Mons il vulcano più grande del sistema solare (alto circa 25 Km e grande circa come tutta la Francia)

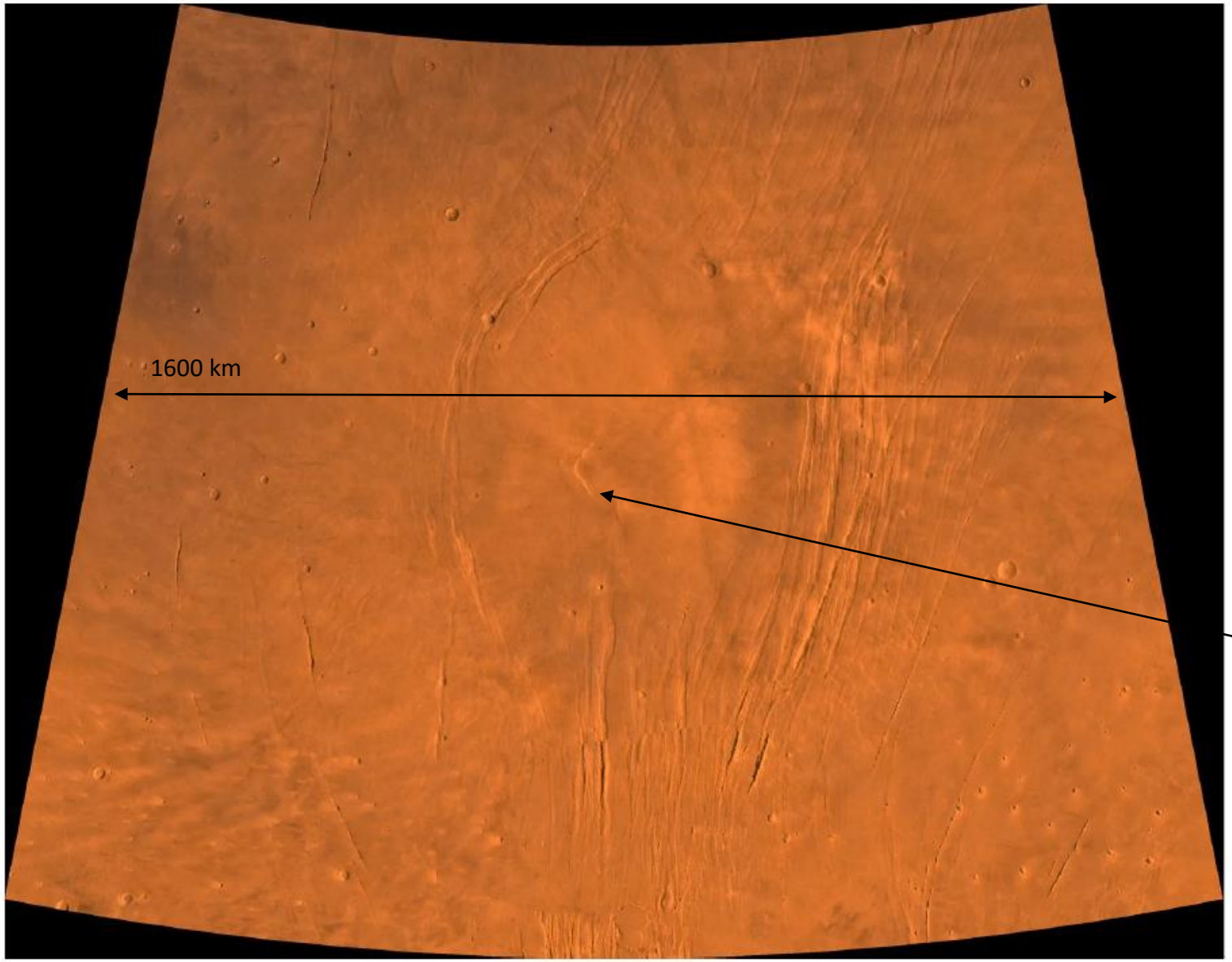
Caldera centrale (larga circa 85 km) comprende diversi crateri di collasso sovrapposti



aureole

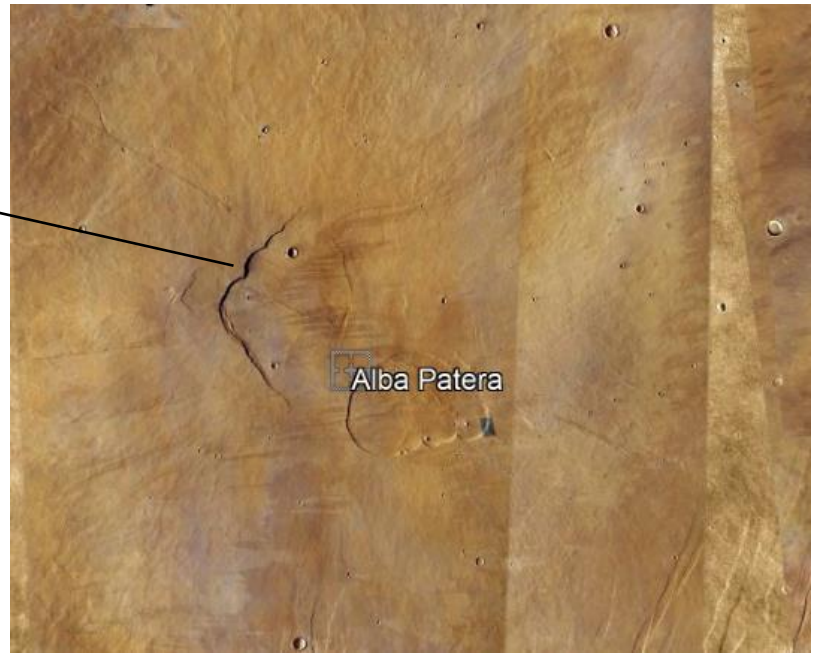
Vulcano legato probabilmente alla presenza di un punto caldo di risalita di magma (tipo Haway a scudo)

Caratteristiche morfologiche

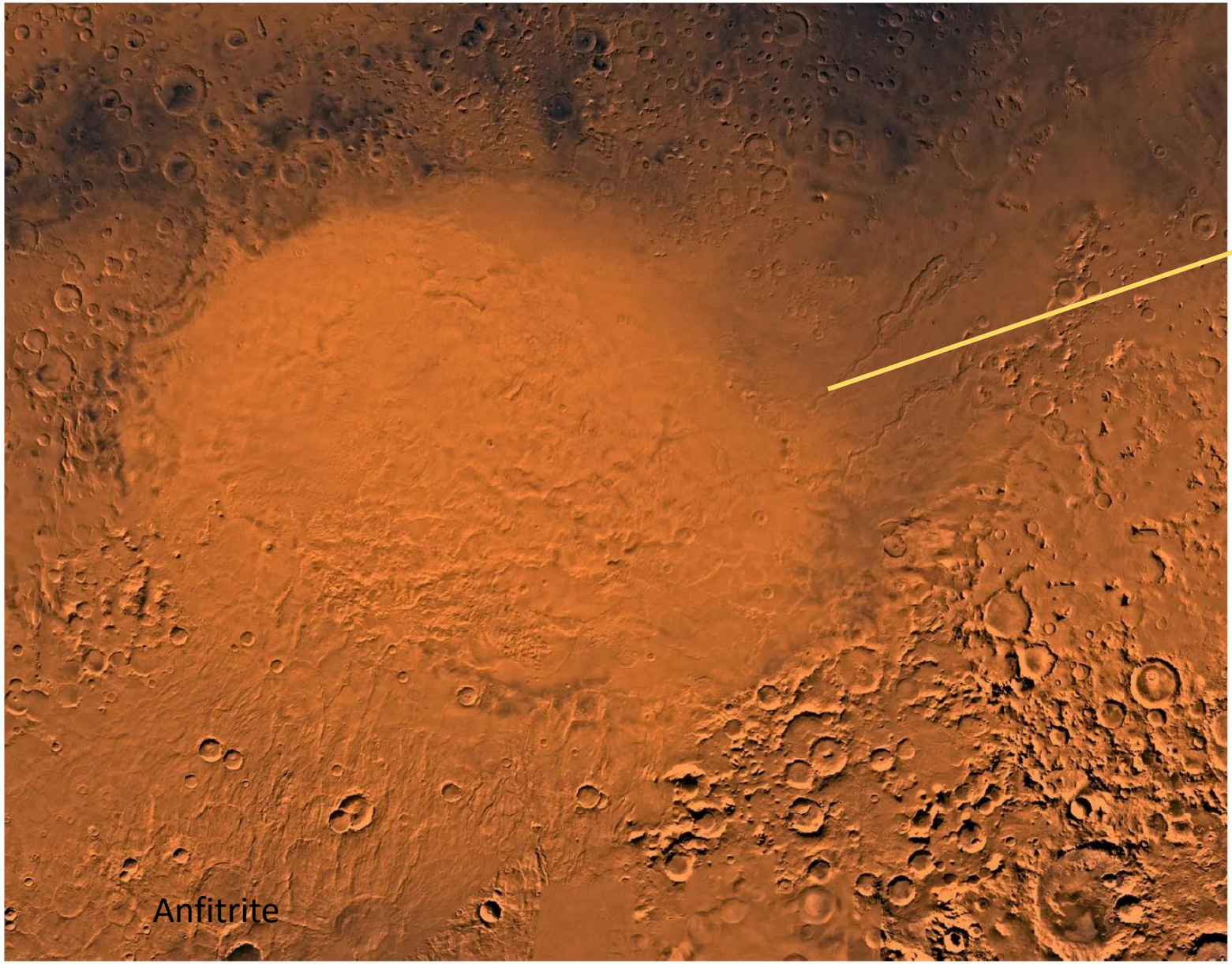


Alba Patera

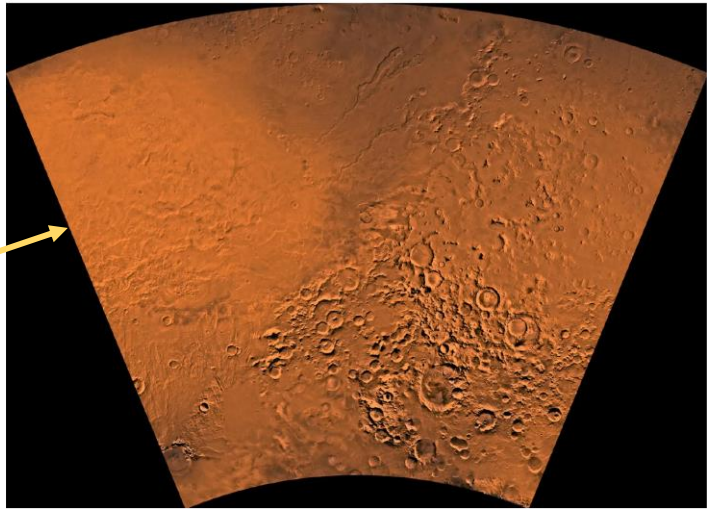
Cratere sommitale di una formazione vulcanica situata nella zona nord della regione Tharsis.
Vulcano a scudo, approssimativamente del diametro di 1600 km, e con un'altezza di 6 km nel suo punto più alto



Caratteristiche morfologiche

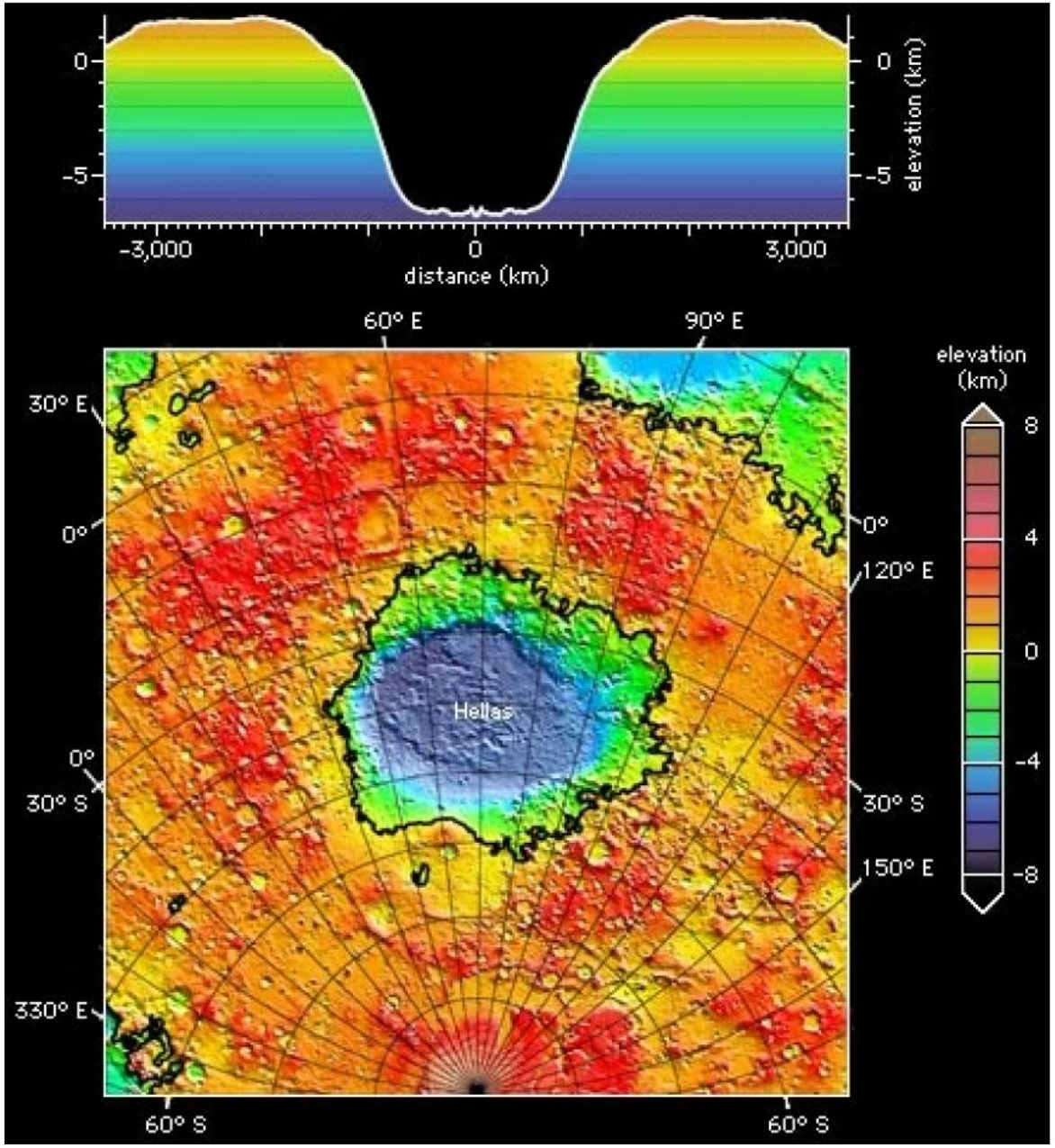


Regione di Hellas



Regione di Hellas nell’emisfero meridionale del pianeta, che mostra una notevole varietà del terreno. La porzione orientale del bacino di impatto di Hellas è l'area chiara a sinistra; sotto c'è il vulcano a scudo di Anfitrite. A destra ci sono una serie di crateri da impatto. L'area scura in alto comprende resti di colate laviche provenienti da un secondo vulcano a scudo, Hadriaca Patera. Questa immagine è un mosaico di immagini scattate da Vicking.

Caratteristiche morfologiche



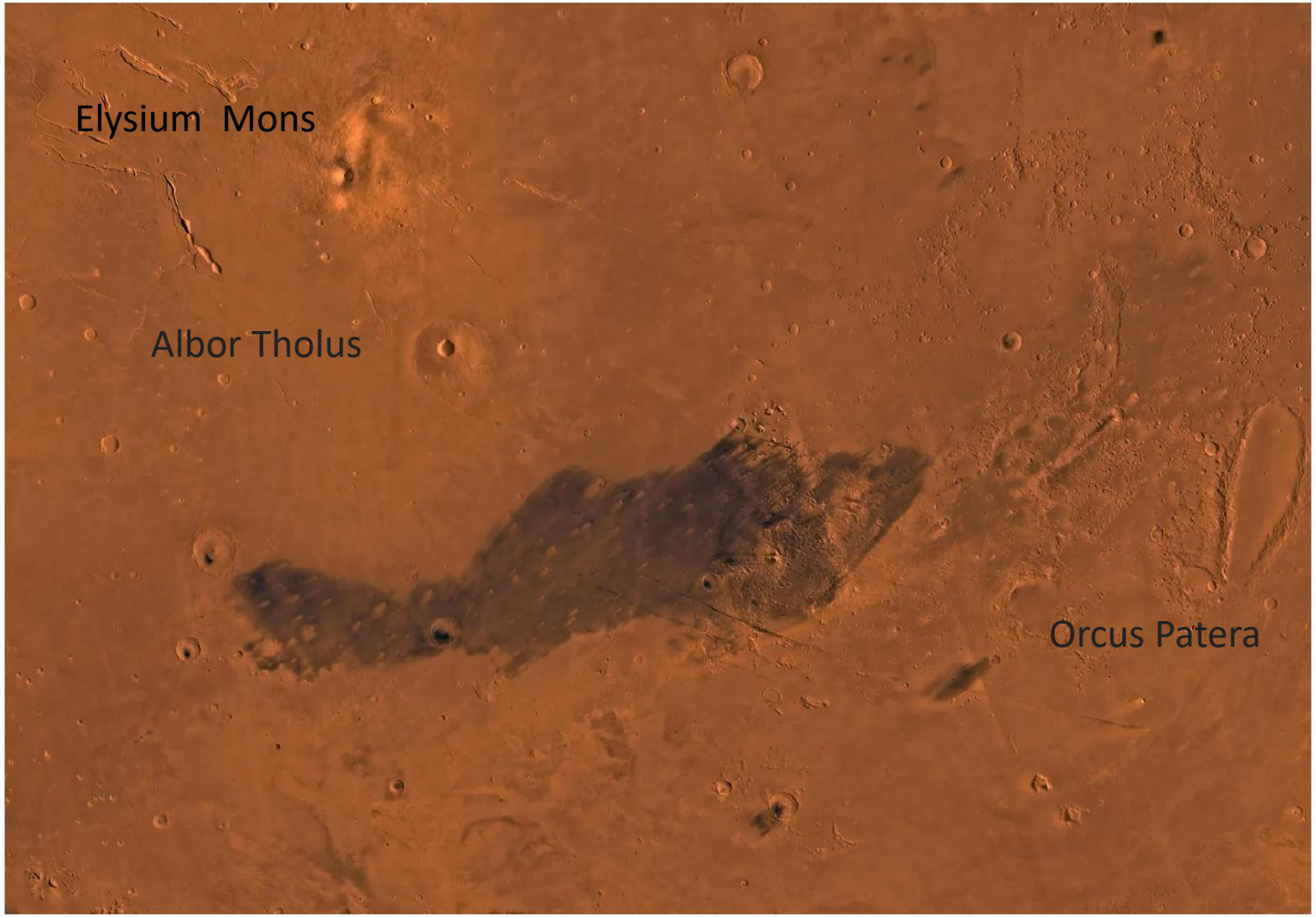
Particolare del bacino di impatto di **Hellas**

E' il più grande cratere da impatto sulla superficie di Marte.

Diametro del bacino: 2000 km
Il fondo del bacino è di circa 7.152 m di profondità rispetto alla quota media di Marte.
La differenza di altitudine tra il bordo e il fondo è di circa 9.000 m.

In alcune zone di Marte dove sono presenti profonde depressioni altimetriche è possibile la presenza di acqua liquida anche se solo per un ristretto intervallo di temperatura, ad come ad esempio sul fondo di questo bacino.

Caratteristiche morfologiche



Regione di Elysium

Elysium è la seconda regione vulcanica più grande di Marte dopo Tharsis. Oltre alla pianura e ad avere grandi vulcani, Elysium ha diverse aree con lunghe trincee, chiamate fossa o fossae (plurale) su Marte.

Regione Elysium, nell'emisfero settentrionale di Marte. Il vulcano a scudo Elysium Mons è visibile in alto a sinistra; appena sotto c'è un altro vulcano, Albor Tholus. A destra, a fianco della regione scura, c'è il cratere Orcus Patera. Non visibile nell’immagine sopra Elysium c’è il vulcano Hecates Tholus.

Caratteristiche morfologiche

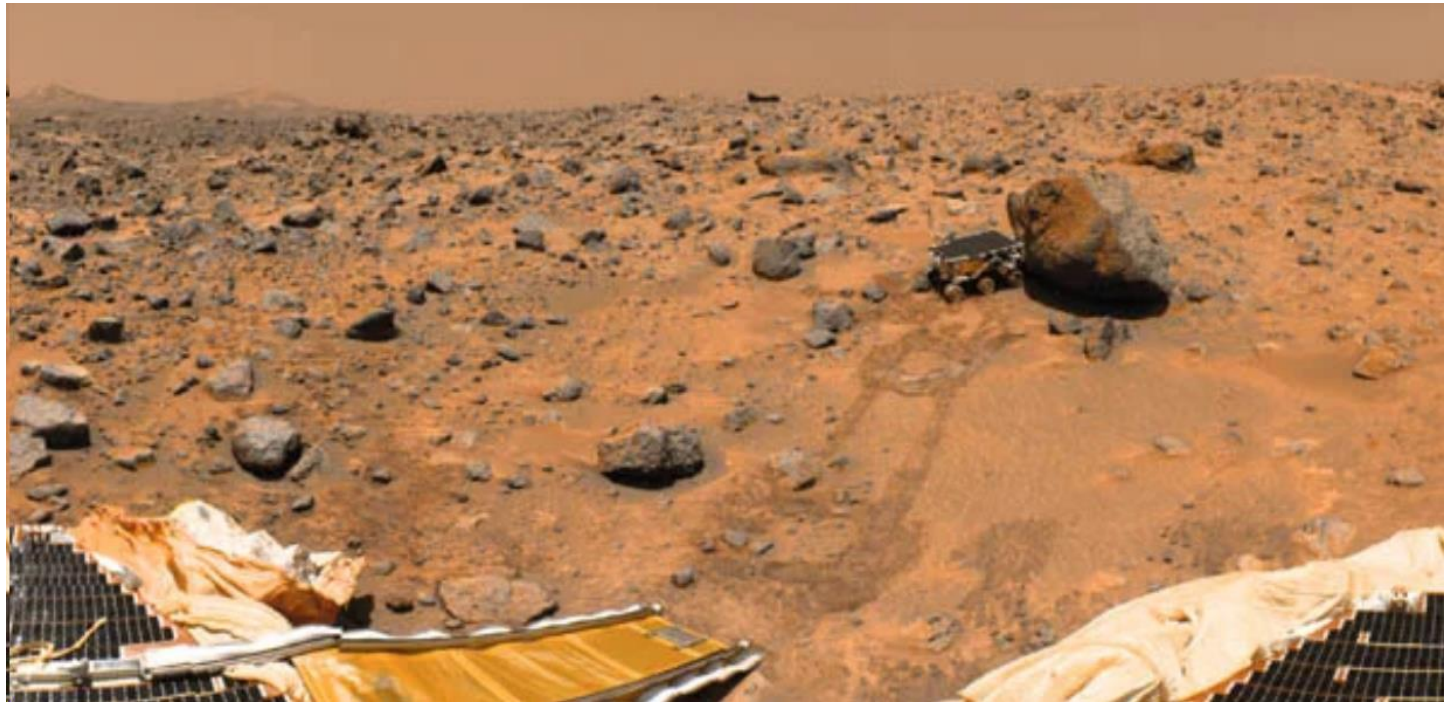
Arabia Terra

Con i suoi 4.500 km di estensione è una delle regioni più grandi del pianeta e anche una delle più antiche, infatti è fortemente craterizzato e mostra una forte erosione; si trova nell'emisfero nord.

Nel 2003 la sonda Mars Odyssey ha scoperto che si tratta della regione marziana più ricca di idrogeno di tutto il pianeta, da cui segue che nei materiali di cui è composto il suolo ci potrebbe essere dell'acqua; la sonda Mars Express ha scoperto che si tratta di una delle zone con la più alte concentrazione di metano.

Immagine Themis mosaico di immagini a infrarossi diurne che mostra l'Eden Patera (al centro), uno dei complessi di caldera vulcanica in Arabia Terra, e i suoi dintorni.

Caratteristiche morfologiche

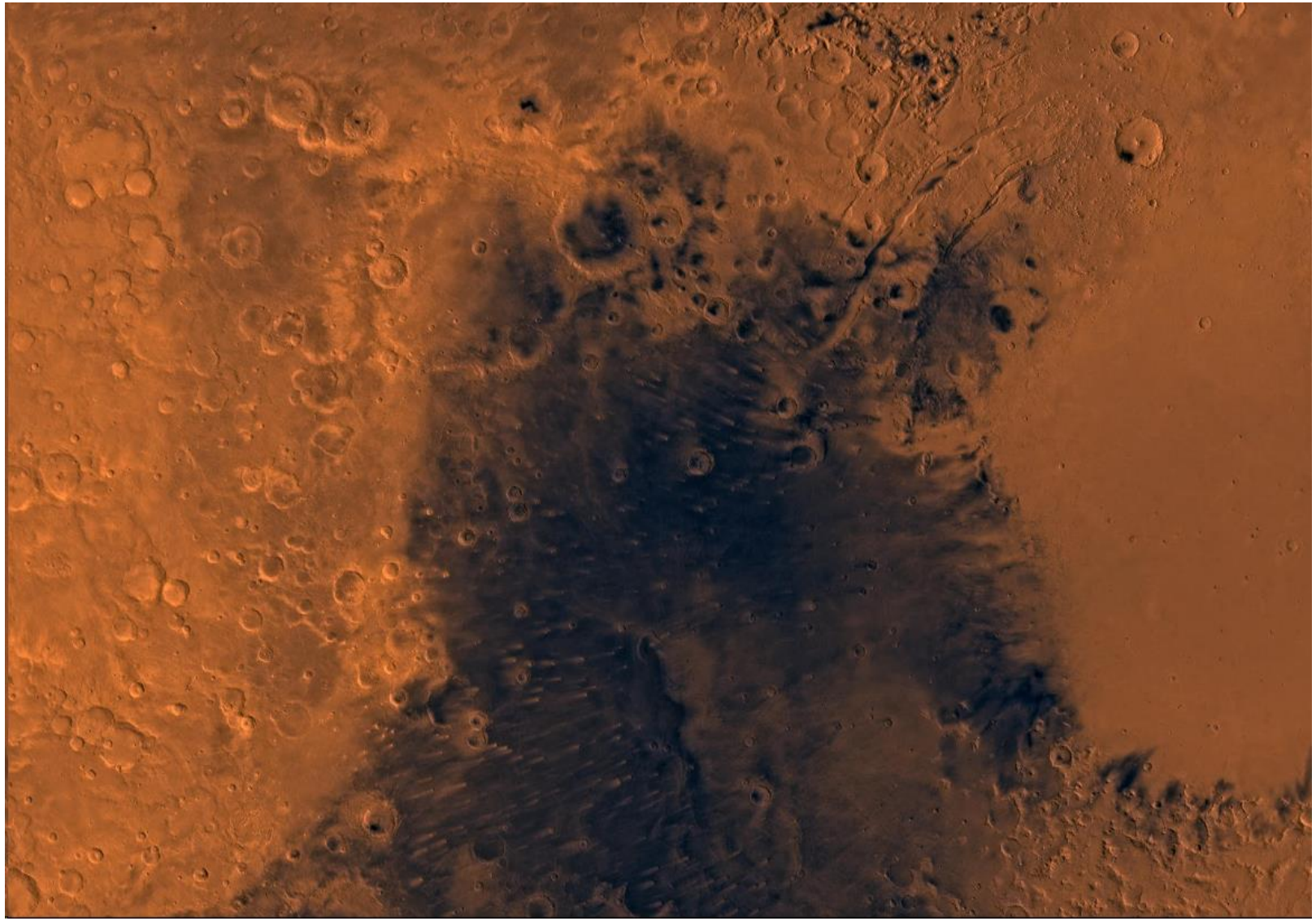


Il rover robotico Sojourner della NASA esamina un masso sulla Chryse Planitia di Marte, come ripreso dalla navicella spaziale madre, Pathfinder, dopo l'atterraggio sul pianeta il 4 luglio 1997. Parti dei pannelli solari del Pathfinder e la rampa di discesa del rover sono in primo piano.

Chryse Planitia

E' una pianura dell'emisfero settentrionale, vicino alla regione di Tharsis, relativamente liscia, essendo la densità dei crateri molto bassa, e di forma circolare; si trova a 2,5 km al di sotto dell'altitudine media della superficie marziana, è una delle regioni più basse del pianeta. Si pensa sia un antico bacino d'impatto ed è il punto di arrivo di numerosi canali provenienti dalle colline che si trovano a sud, dalla Valles Marineris e dalla regione Tharsis; al suo interno sono presenti delle strutture geologiche lunghe più di 100 km di forma allungata, ondeggiante e sopraelevata rispetto al terreno circostante (dorsa) formata da lava basaltica e il terreno mostra evidenti segni di una passata erosione dovuta all'acqua.

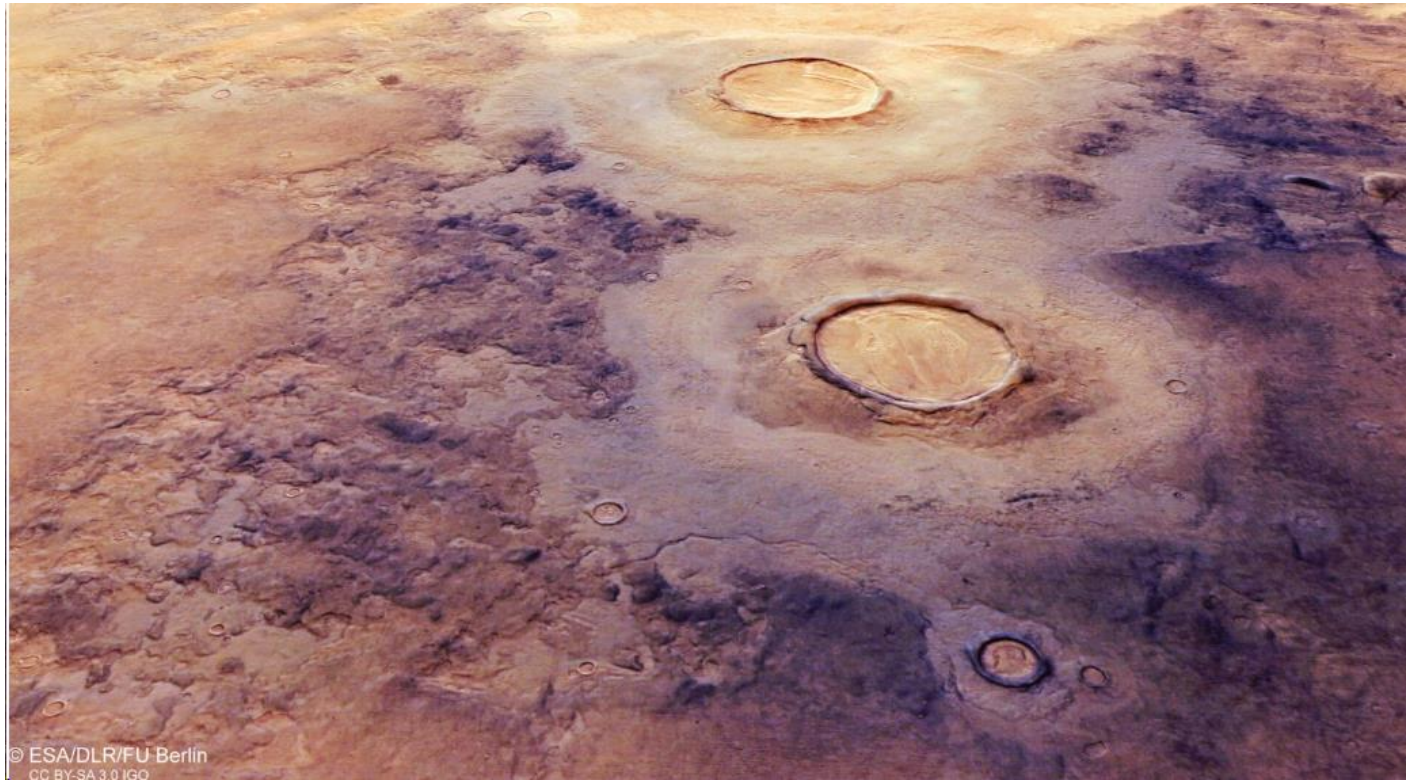
Caratteristiche morfologiche



Syrtis Major

Appare come una zona pianeggiante nera, che si estende per 1500 km circa al di sopra dell'equatore e per 1000 km in direzione ovest-est. La sonda Mars Global Surveyor ha rivelato che si tratta in realtà di un basso vulcano a scudo, la cui altezza massima è di 6 km e la cui inclinazione è inferiore ad 1 grado, anche se la si continua a chiamare pianura; il suo colore scuro indica che le rocce basaltiche affiorano sotto il sottile strato di polvere che la ricopre. Al centro della zona si trova una depressione di 350x150 km in direzione nord-sud, che contiene le 2 caldere Nili Patera e Meroe Patera, entrambe profonde solo 2 km

Caratteristiche morfologiche



Veduta area di Utopia Planitia ripresa dalla sonda Mars Express

Vastitas Borealis

Il più esteso bassopiano marziano, si trova nella parte più settentrionale del pianeta. Si estende nell'emisfero settentrionale per 4300 km e circonda la regione polare.

Al suo interno si possono identificare due distinti bacini d'impatto, **l'Utopia Planitia**, una zona pianeggiante ed uniforme, butterata, probabilmente a causa della sublimazione del ghiaccio, ricoperta di massi e macigni provenienti dai vicini crateri meteorici.
Il secondo bacino, il **Bacino Boreale**, è il più grande dell'emisfero nord ed occupa circa il 40% della superficie del pianeta; raggruppa le Planitiae Arcadia, Amazonis, Acidalia, arriva fino ai vulcani di Tharsis e sfocia nella Chryse Planitia.

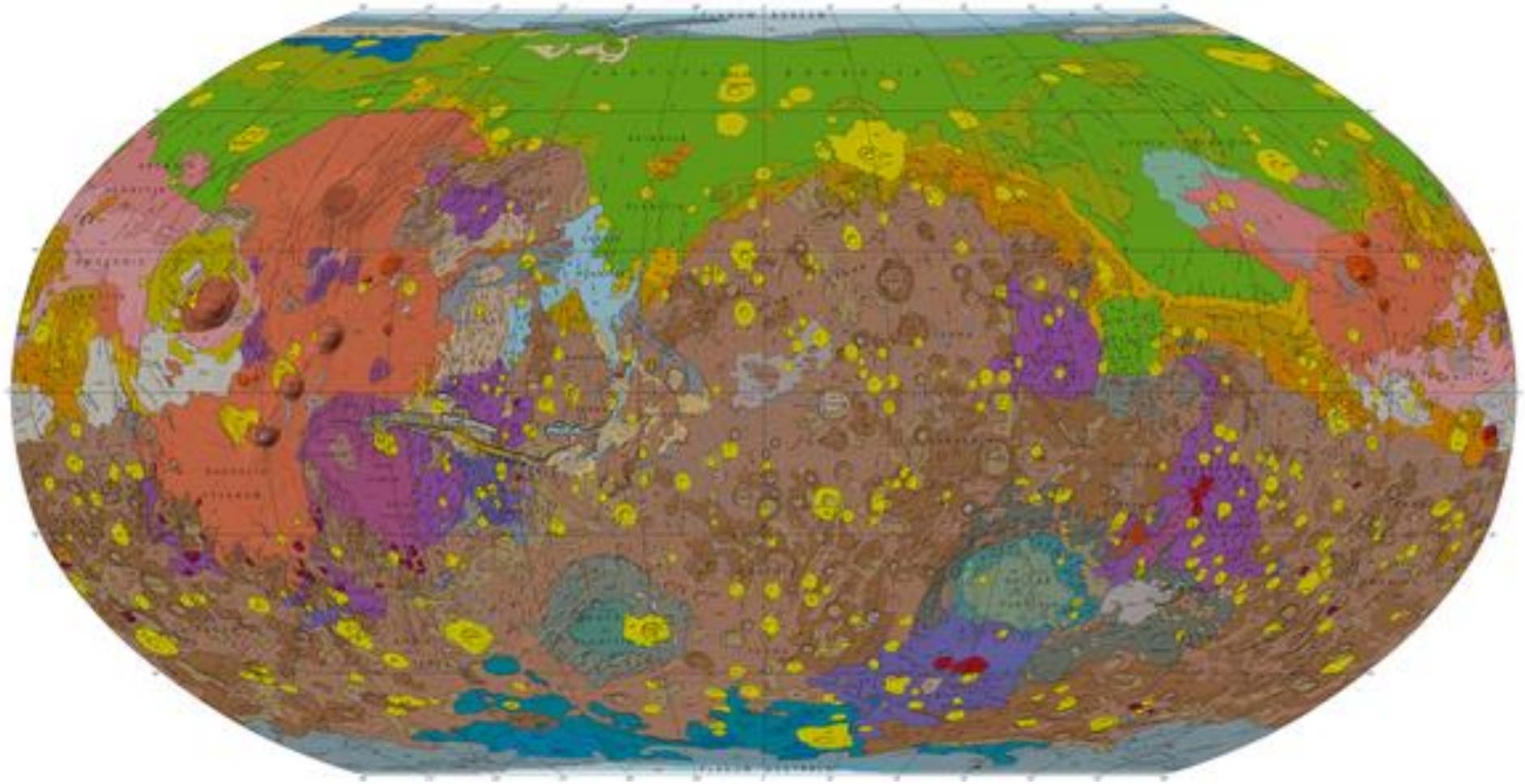
Caratteristiche morfologiche

Zona equatoriale

Superficie marziana vicino all'equatore. La metà destra dell'immagine è dominata dai crateri; le zone a sinistra sono canali che probabilmente furono causati dal deflusso delle acque. Questa immagine composita in falsi colori si basa su immagini in bianco e nero ad alta risoluzione e a colori a bassa risoluzione scattate dalle navicelle spaziali Viking 1 e Viking 2.

Caratteristiche morfologiche

Mappa geologica di Marte, 2014, USGS



La carta è il risultato di molti dati e metodologie utilizzate tra le quali infrarossi, termici, tutti dati provenienti da satellite. Tra i vari strumenti è stato utilizzato il CRISM, uno spettrometro che analizza il modo in cui le rocce riflettono la luce del sole.

unità di pianura
unità d'impatto
unità polari
unità di bacino
unità vulcaniche
unità di deposizione
unità di transizione
unità dell'altopiano

La carta registra la distribuzione delle unità geologiche e delle morfologie della superficie del pianeta.

Caratteristiche morfologiche

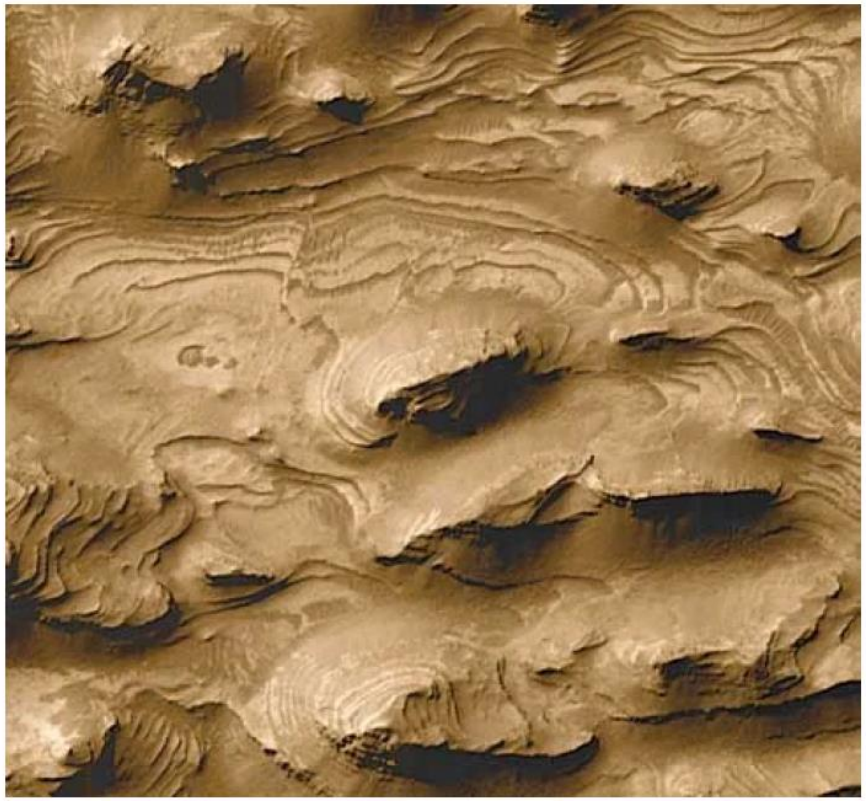
Tipologia di rocce

Superficie ricca in basalto (roccia vulcanica)
Zone ricche di silicio (simile all'andesite sulla terra)
Rocce sedimentarie

Chryse planitia primo piano di rocce vulcaniche (foto scattata il 17 setembre 1997)

Affioramenti rocciosi di origine sedimentaria (cratere Gale immagine dal rover Curiosity nel 2013)

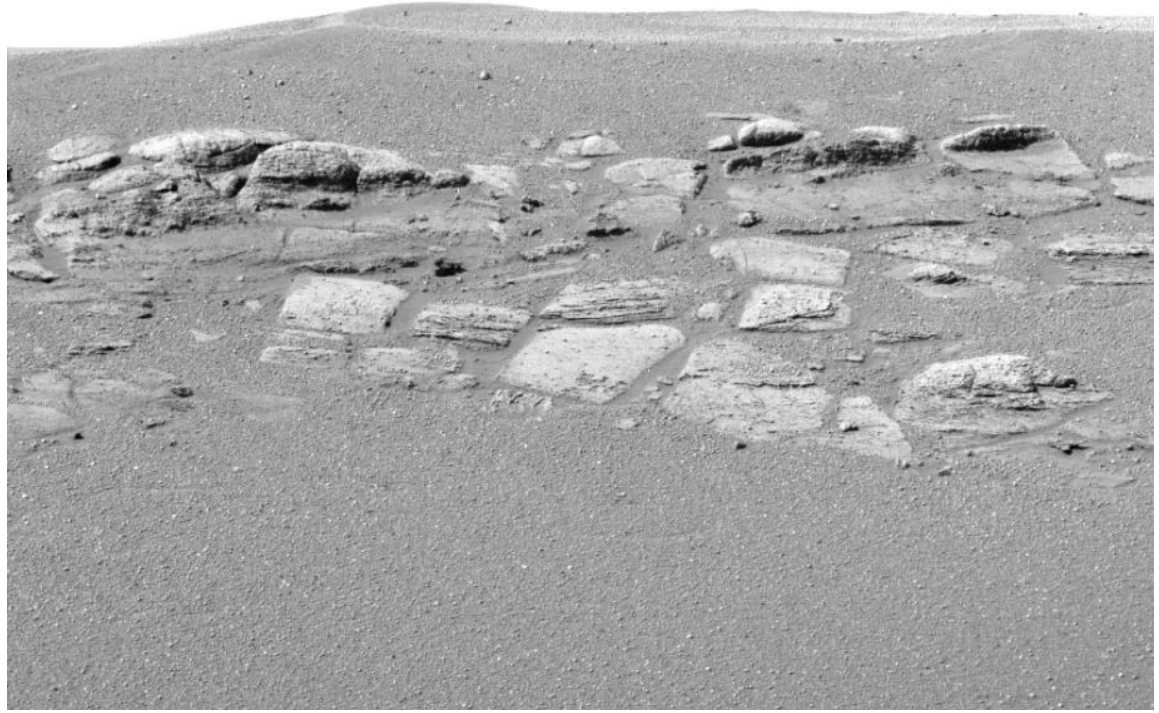
Caratteristiche morfologiche



Affioramenti di strati di roccia sedimentaria (regione SW di Candor Chasma, sistema di canyon di Valles Marineris) fotografati ad alta risoluzione da Mars Global Surveyor nel marzo 1999. Alcuni scienziati hanno interpretato queste formazioni come prova che i laghi un tempo riempivano parzialmente i canyon. Nella regione sono esposti più di 100 strati, ciascuno stimato in circa 10 metri, di cui solo una parte è visibile nell'immagine.

Rocce sedimentarie

Porzione di roccia affiorante all'interno di un piccolo cratere nella regione Meridiani Planum (Immagine realizzata dal Mars Exploration Rover Opportunity alla fine di gennaio 2004). L'affioramento è alto da 30 a 45 cm. Gli strati rocciosi apparentemente furono depositati sul fondo di un corpo di acqua salata, probabilmente sulla costa di un antico mare salato.



Caratteristiche morfologiche

Pianure

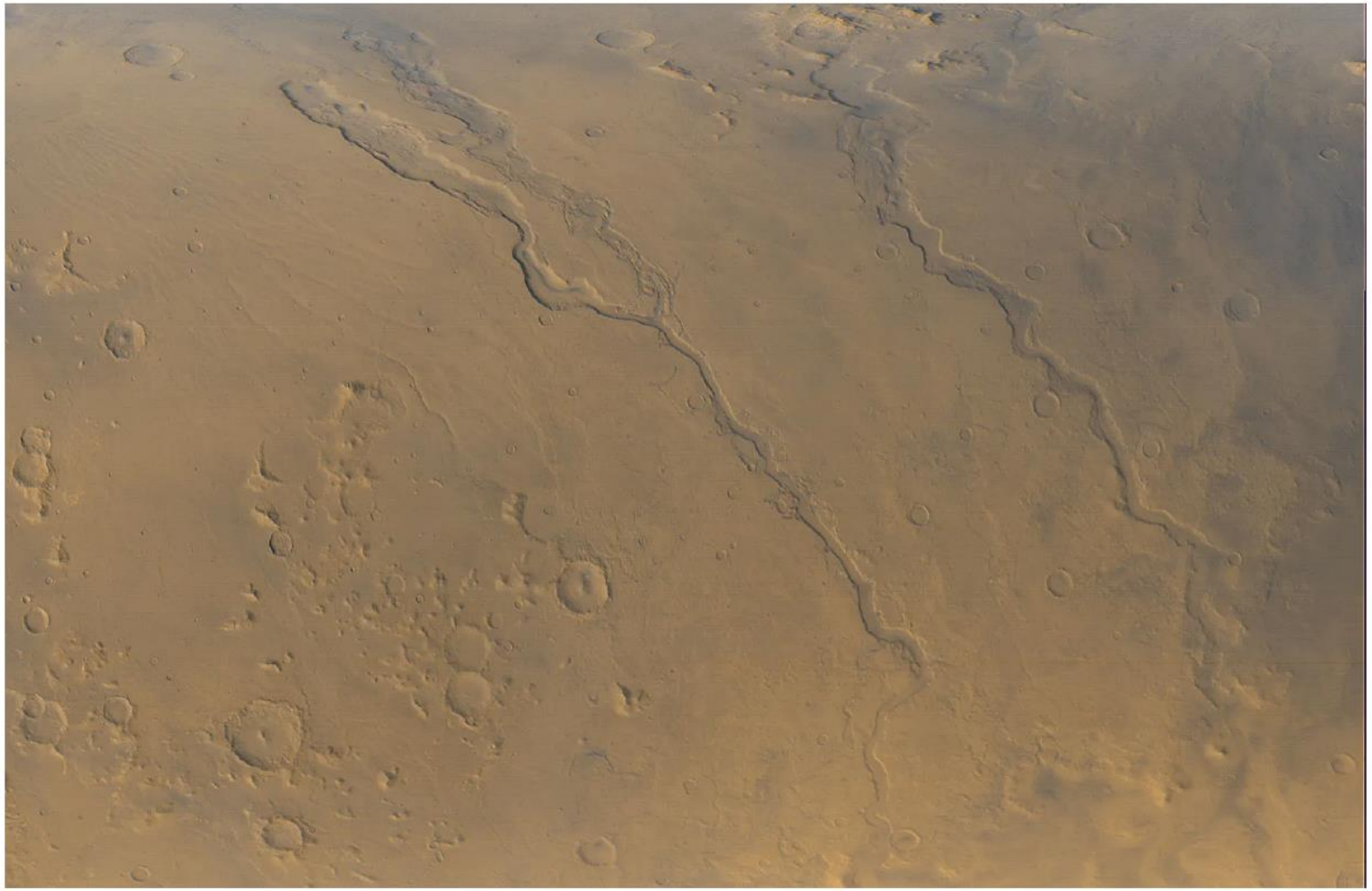
Chryse planitia
immagine trasmessa dal lander Viking 1 il
21 luglio 1976

Utopia planitia
immagine trasmessa dal
lander Viking 2 il
5settembre 1976

Pianure cosparse di massi. In generale il paesaggio assomiglia molto a un tipico deserto terrestre

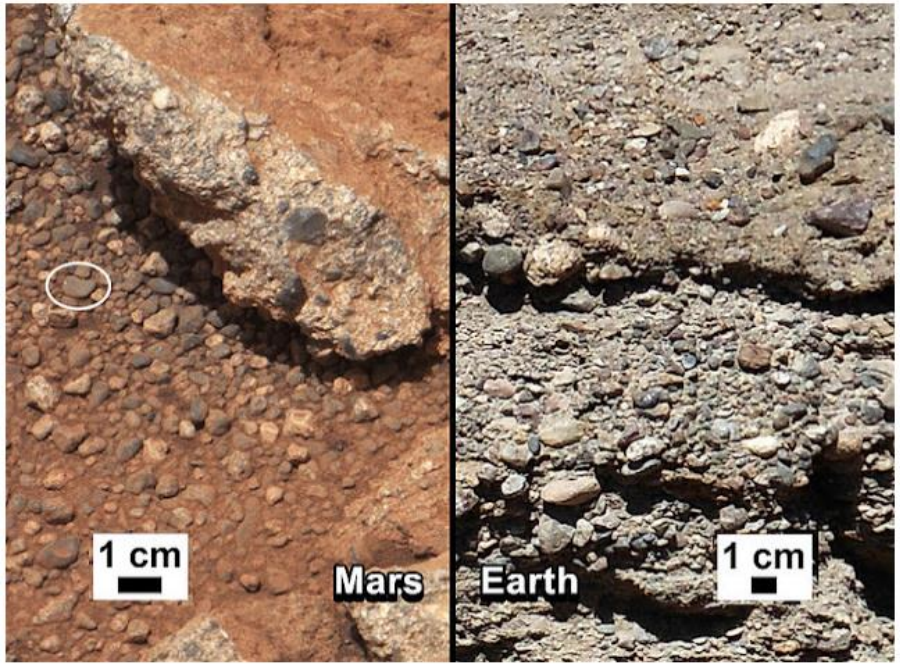
Gilf Kebir
Egitto

Caratteristiche morfologiche



Canali

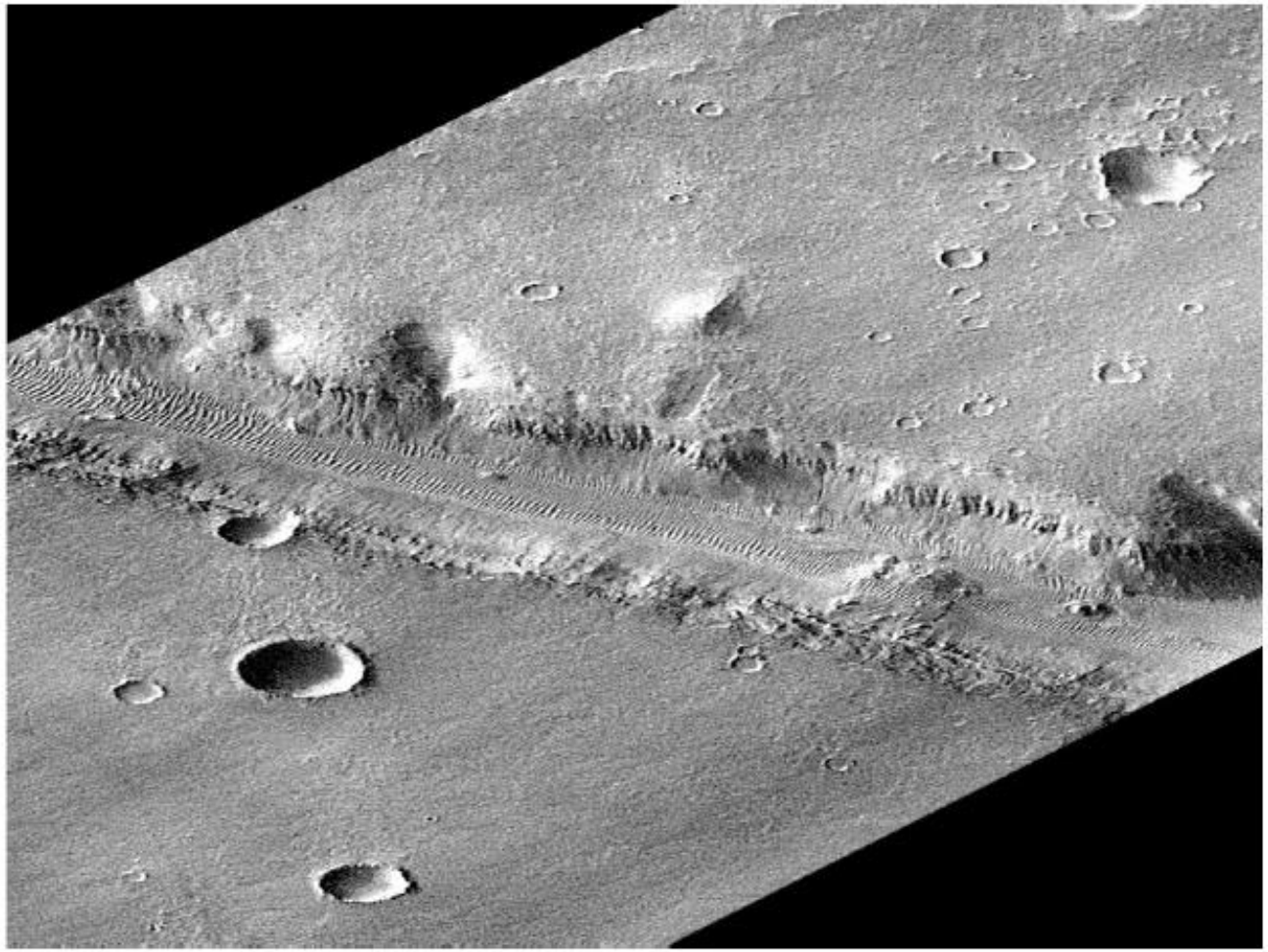
Canali di deflusso situati vicino al bordo orientale del gigantesco bacino da impatto Hellas, in una vista ottenuta da Mars Global Surveyor il 13 settembre 2000. Si ritiene che siano stati incisi sulla superficie marziana dalle acque alluvionali. I canali sono profondi circa 1 km e variano lungo il loro percorso da circa 40 km a circa 8 km di larghezza



Confronto con depositi di un ruscello terrestre asciutto e depositi su Marte

Caratteristiche morfologiche

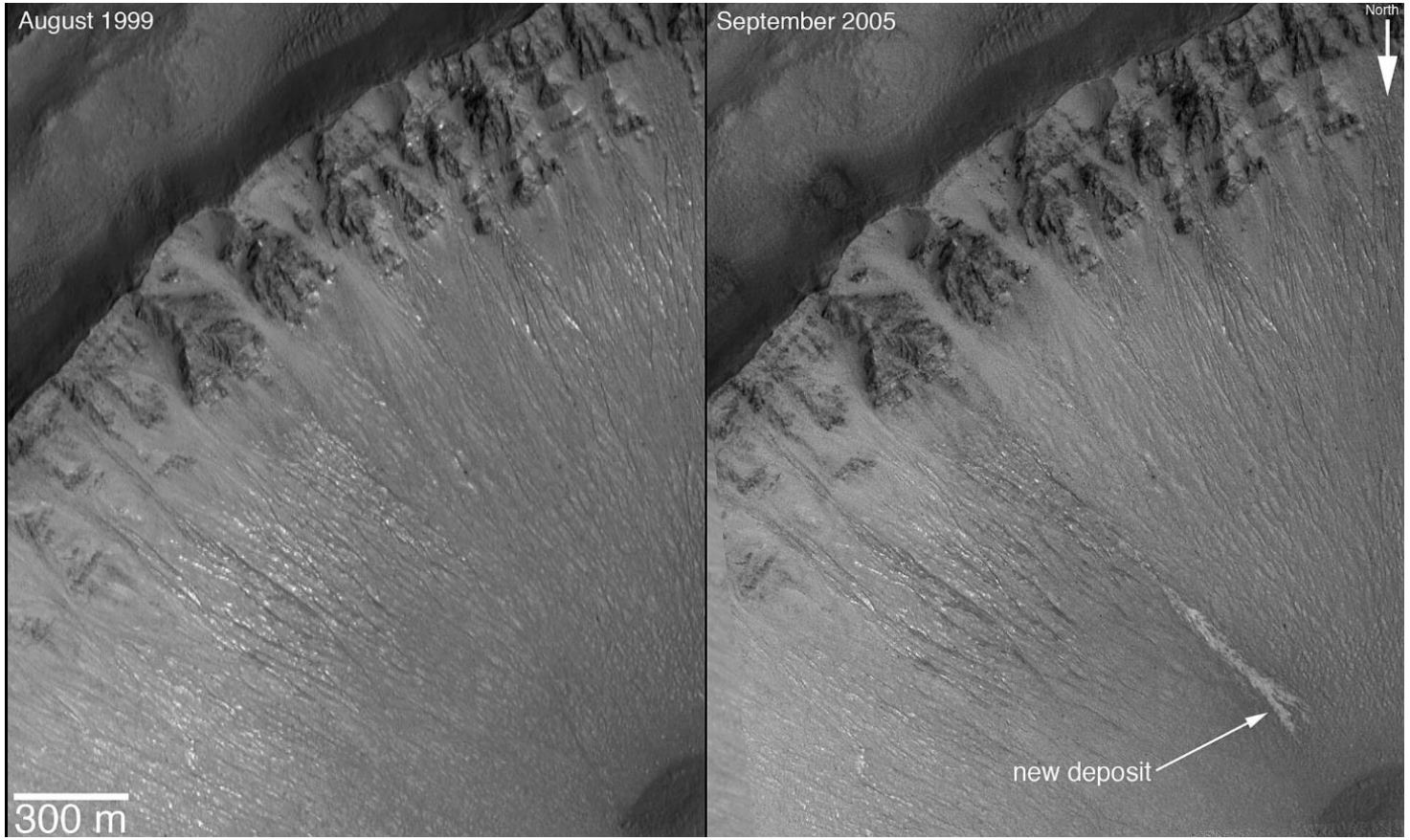
Vista prospetica di Nirgal Vallis



Basata sulle osservazioni effettuate dal Mars Global Surveyor. I lati del canyon presentano caratteristiche simili a canali di deflusso a indicare la presenza di acqua superficiale nel passato di Marte.

Parte del canyon di Nanedi Vallis (lughezza mostrata 20 km e larghezza 2.5 km).
Situato su una pianura craterizzata vicino all'estremità orientale della Valles Marineris. Il canale è una delle numerose reti di valli marziane che assomigliano ai sistemi di drenaggio che ci sono sulla Terra formati da acqua corrente.

Caratteristiche morfologiche

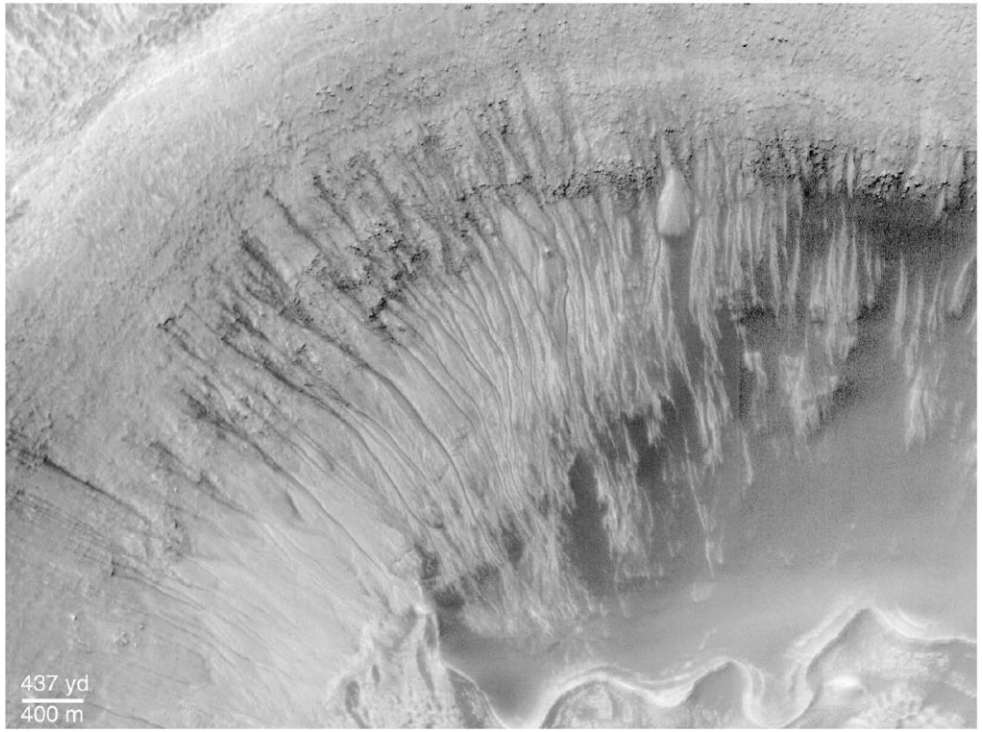


Pendio interessato da canali nella zona di Centauri Montes, ripreso in due momenti successivi.

Nella seconda immagine appare un elemento di colore chiaro che si configura come un nuovo deposito di sedimenti. Michael Meyer, il responsabile del Programma di Esplorazione Marziana della NASA, asserisce che solo un flusso di materiali con un elevato contenuto di acqua allo stato liquido può produrre un sedimento di tale forma e colore. Tuttavia non è ancora possibile escludere che l'acqua possa provenire da precipitazioni o da altre fonti che non siano sotterranee. Ulteriori scenari sono stati considerati, compresa la possibilità che i depositi siano stati causati da ghiaccio di anidride carbonica o dal movimento di polveri sulla superficie marziana.

Caratteristiche morfologiche

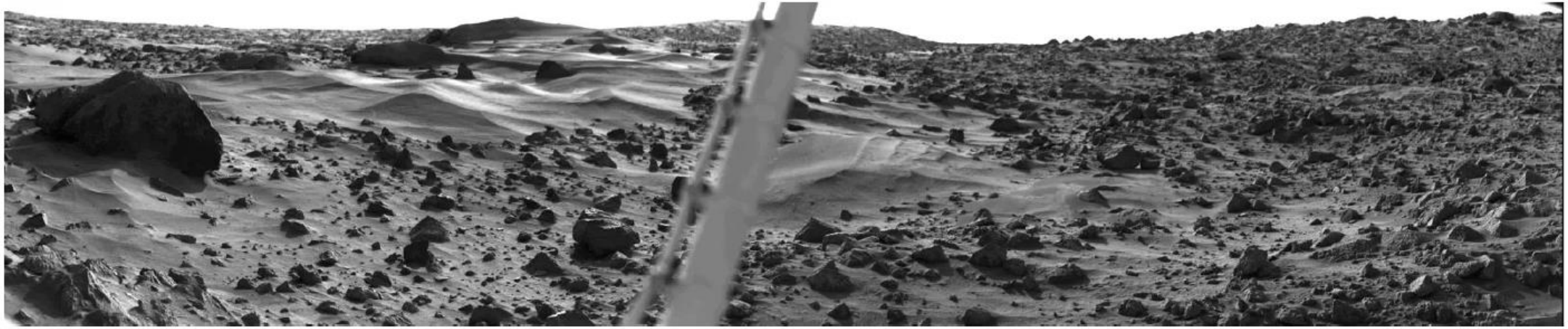
Interno del cratere Newton



I canaloni si formano sulla ripida parete. Le rocce e il terreno trascinati dai flussi si depositano in lobi alla base della parete del cratere. Flussi interpretati come acqua sotterranea filtrata alla base della parete.

Caratteristiche morfologiche

Dune

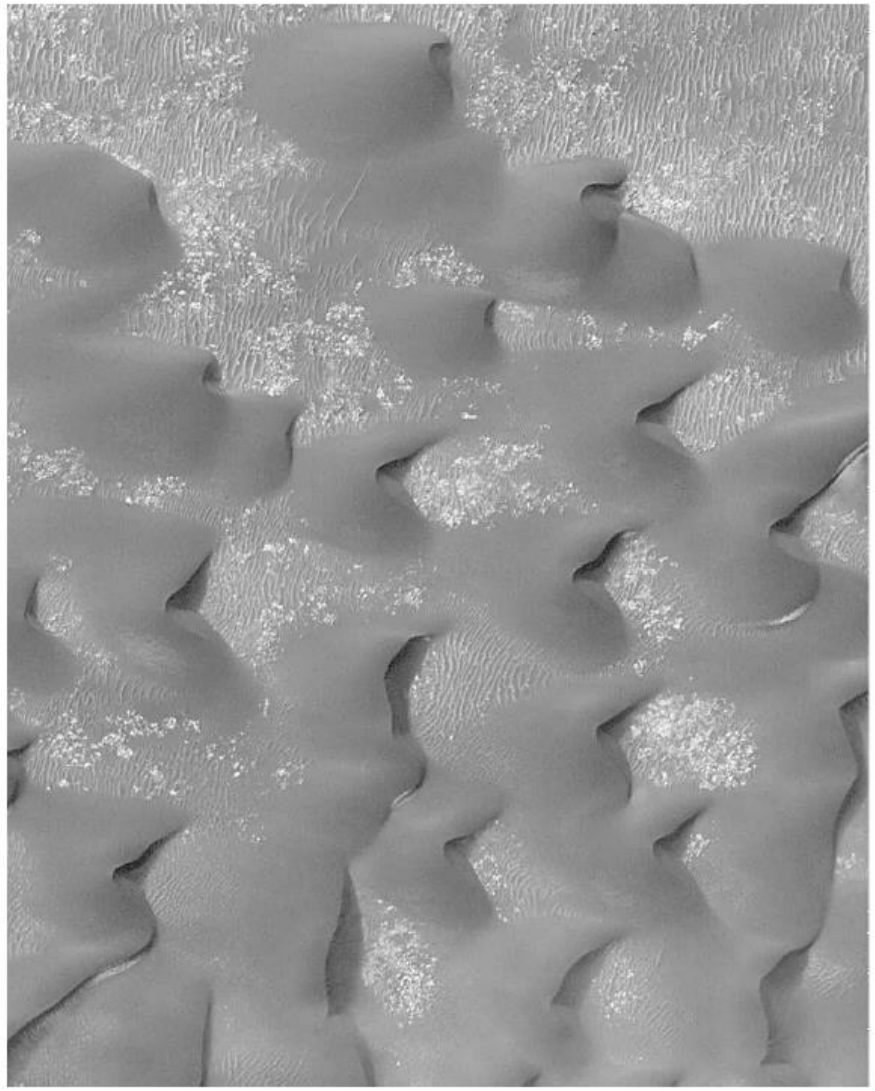


Campo di dune marziane, visto dal lander Viking 1. Le dune a sinistra hanno una stretta somiglianza con le dune di sabbia sulla Terra. La direzione e l'asprezza delle loro creste suggeriscono che i venti dominanti soffiano da sinistra a destra.
Il boom meteorologico del lander divide l'immagine al centro

Dune del deserto di Atacama

Caratteristiche morfologiche

Un campo di dune di sabbia sul fondo del cratere Kaise, mostrato in un'immagine ad alta risoluzione ripresa dalla sonda spaziale Mars Global Surveyor.
Sono evidenti le caratteristiche del vento su diverse scale:
le dune grandi e relativamente scure;
le increspature sulla superficie più chiara su cui vengono sospinte le dune; e un diverso modello di ondulazione ai margini delle dune e dove le dune si fondono.
L'orientamento delle dune più grandi indica che i venti più forti sul fondo del cratere soffiano da ovest a est (da sinistra a destra).



Grandi dune di sabbia
Colorado (USA)

Caratteristiche morfologiche

Poli

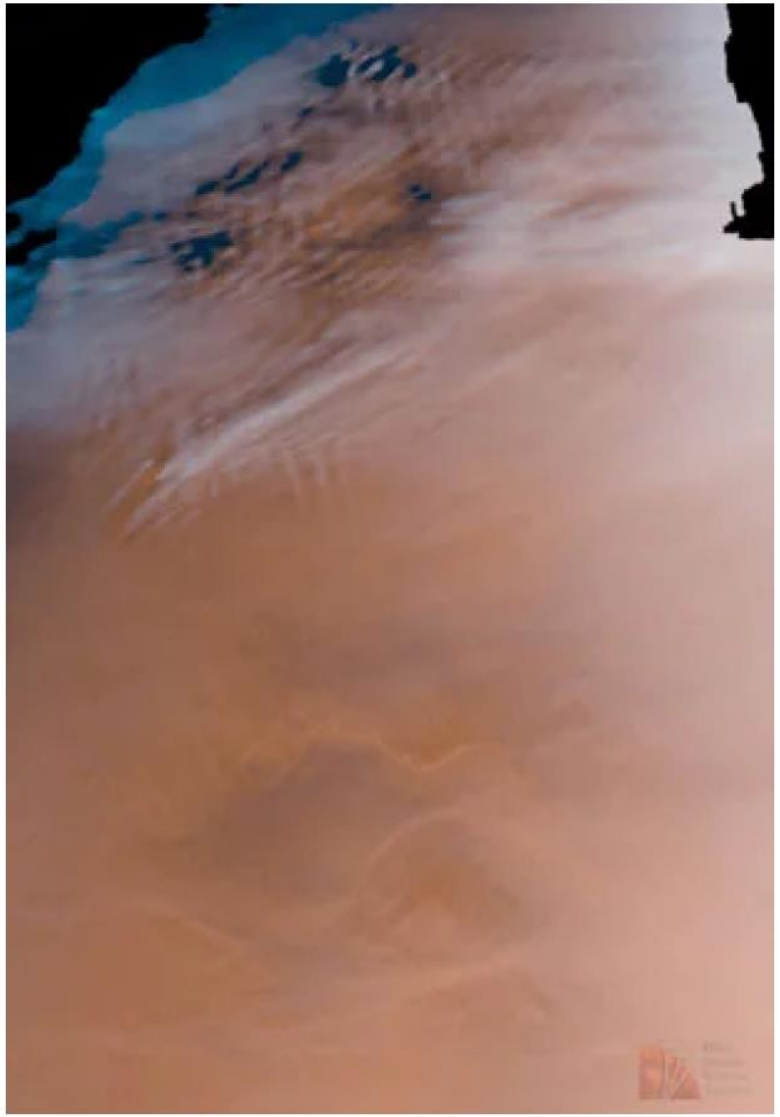
Marte ha 2 calotte polari che per forma ed estensione ricordano quelle della terra.

Regione polare sud

Calotte polari formate da ghiaccio secco e da ghiaccio d'acqua.
La calotta al polo nord si stima che sia composta in prevalenza di acqua allo stato solido. La calotta al polo sud invece sembra sia caratterizzata da un doppio strato di acqua allo stato solido ricoperta da uno spesso strato di anidride carbonica allo stato solido.
In estate il ghiaccio sublima e crea una zona di alta pressione sul polo.
Sul polo opposto a causa della bassa pressione l'anidride carbonica ghiaccia.
La differenza di pressione atmosferica provoca un vasto spostamento di masse d'aria che causano venti fortissimi e alzano la polvere rossa.

Caratteristiche morfologiche

Nuvole



Nuvole e nebbie basse si osservano spesso all'interno di depressioni topografiche (valli o crateri).

Queste nuvole sono formate da piccoli cristalli di ghiaccio, dalla condensazione del poco vapore acqueo presente nell'atmosfera marziana, dovuto alla sublimazione dei ghiacci quando il pianeta si avvicina maggiormente al Sole.

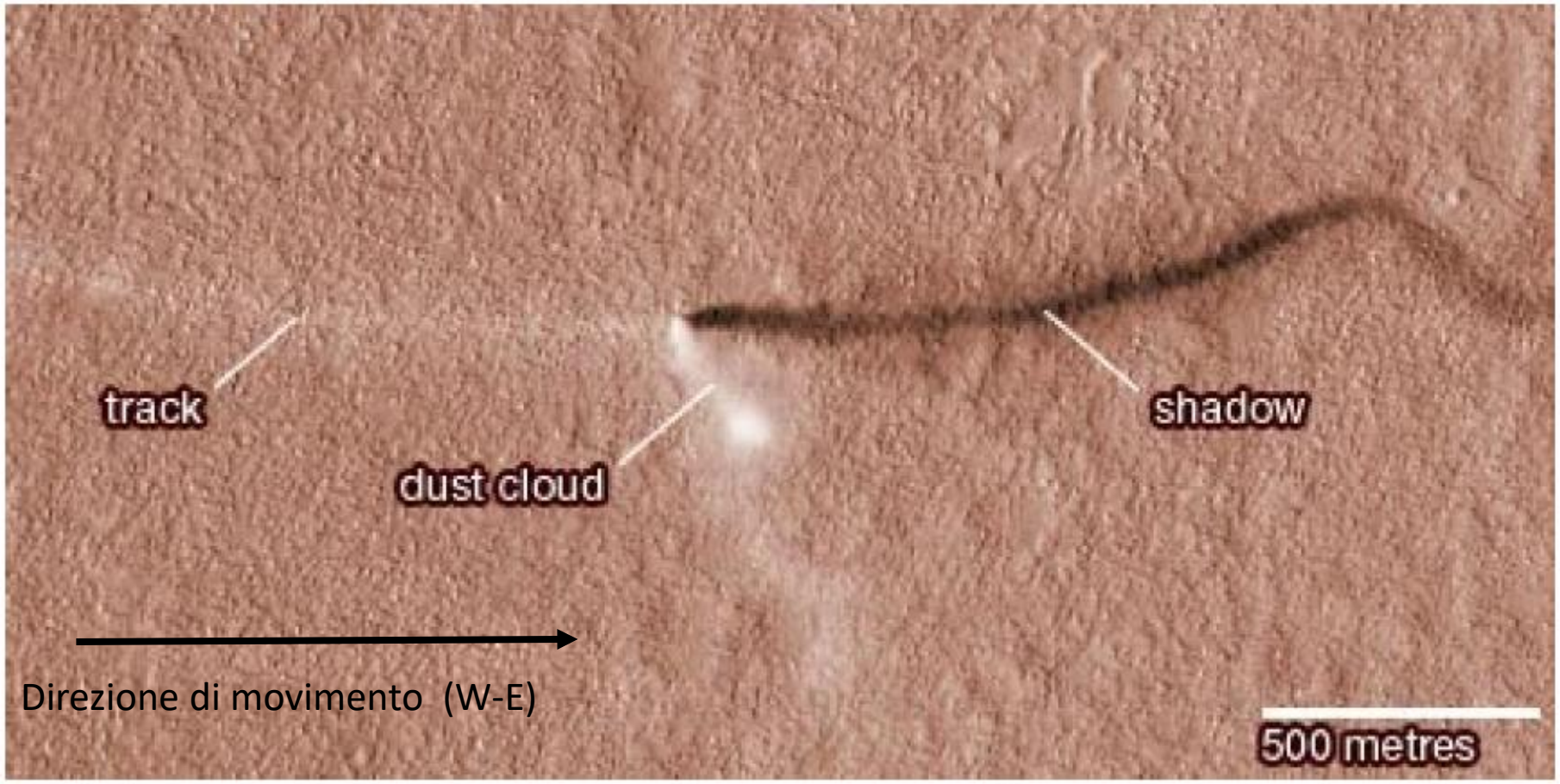
In inverno, alle medie latitudini si osservano regolarmente sistemi di tempeste a forma di spirale che si muovono verso ovest, simili a quelli sulla Terra.

Ma a differenza della Terra, ha anche nubi di anidride carbonica (ghiaccio secco), che si formano quando fa abbastanza freddo da far sì che l'atmosfera del Pianeta rosso si congeli localmente.

ll rover Curiosity Mars della Nasa ha catturato queste nuvole subito dopo il tramonto del 19 marzo 2021. Le nuvole scorrono sopra il Mont Mercou, una parete rocciosa studiata dal rover.

Caratteristiche morfologiche

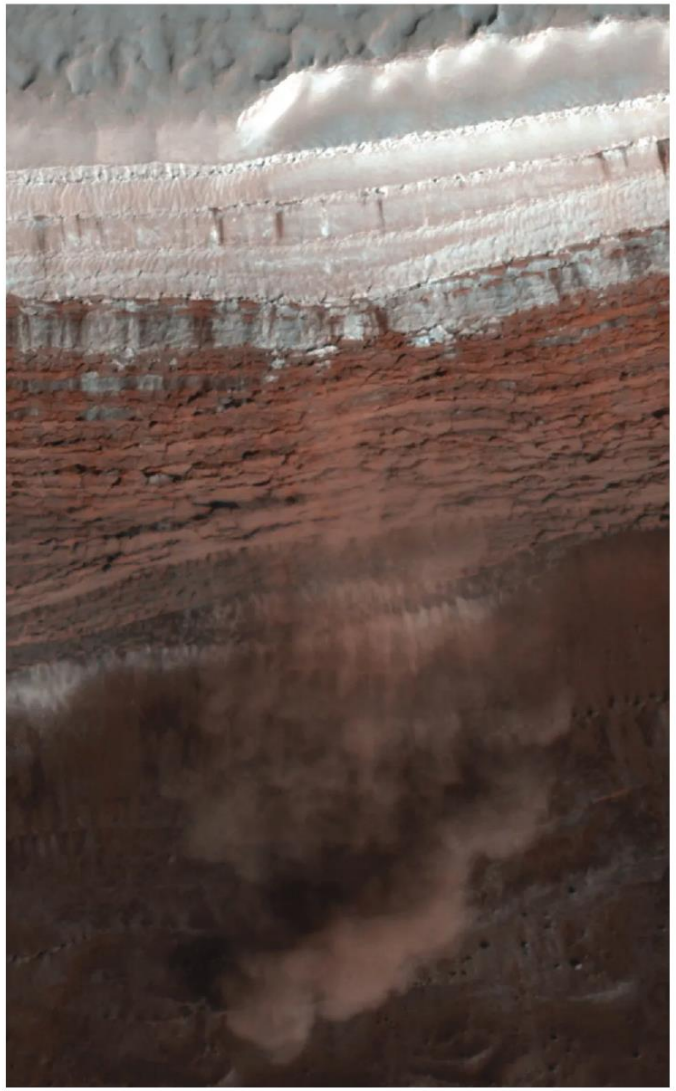
Diavolo di sabbia



Dust devil di polvere nella regione di Marte Amazonis Planitia, ripreso dal Mars Global Surveyor il 10 aprile 2001. Dalla lunghezza dell'ombra si stima l'altezza della colonna di polvere in circa 1 km. Sono fenomeni che si sviluppano in climi desertici e secchi, dovuti a correnti convettive.

Caratteristiche morfologiche

Valanghe



Valanghe vicino al polo nord di Marte in un'immagine scattata dal Mars Reconnaissance Orbiter, 19 febbraio 2008.

I depositi stratificati di sabbia e ghiaccio dello spessore di 3 km con il calore del sole si staccano e crollano sollevando giganteschi polveroni di sabbia.

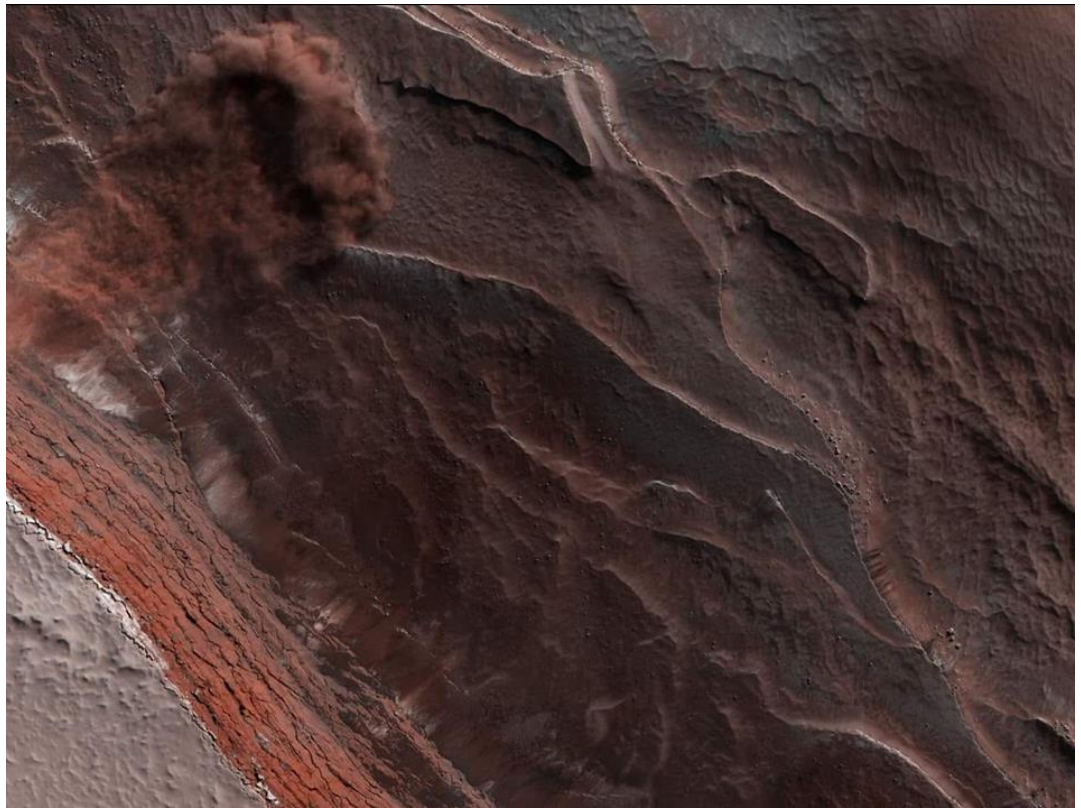


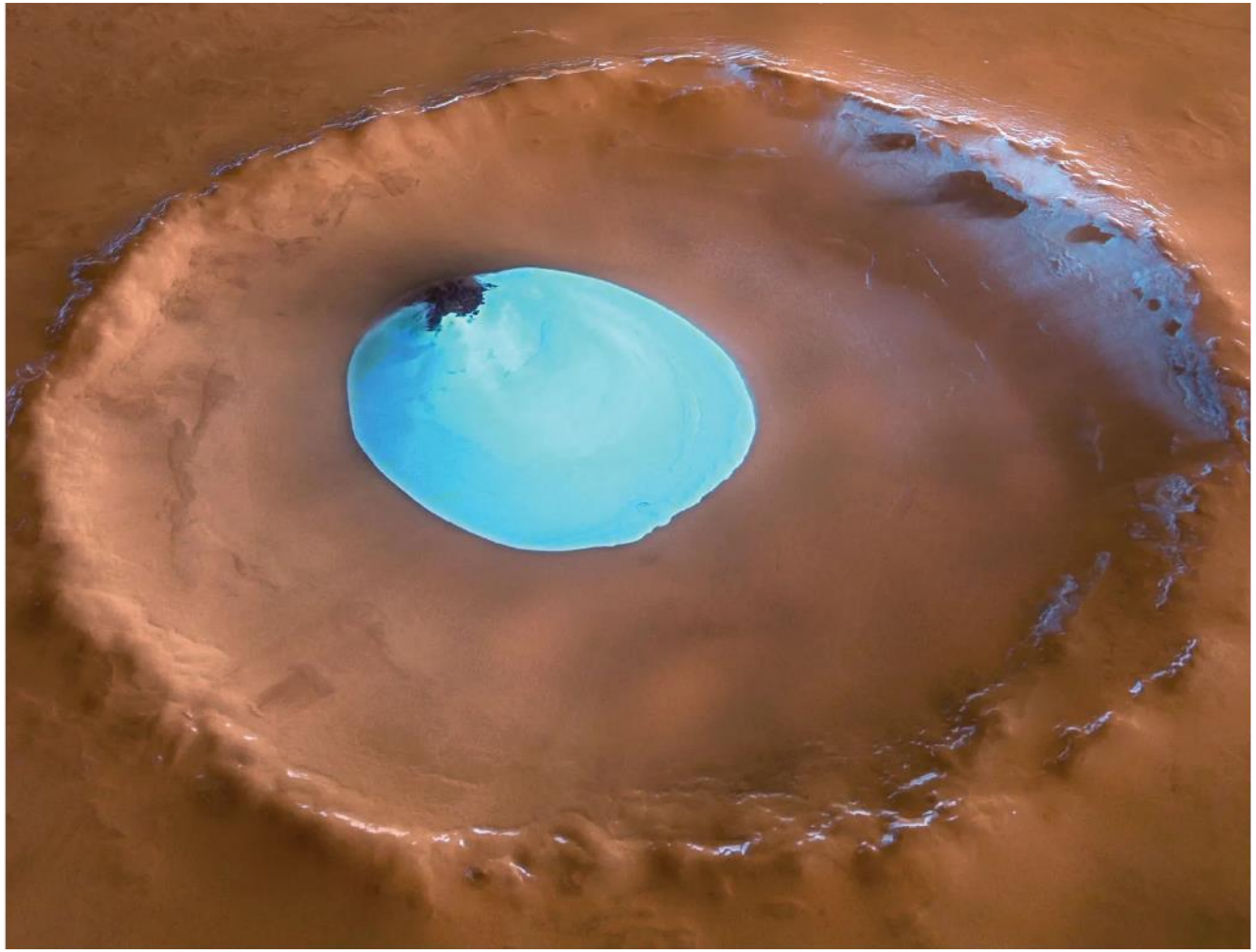
Immagine scattata il 29 maggio 2019 dalla telecamera HIRISE

Caratteristiche morfologiche

Tempeste

Grande sistema di tempeste in alto sopra la regione polare nord di Marte, fotografato dal Mars Global Surveyor il 30 giugno 1999. Il “ricciolo” è costituito principalmente da nuvole di ghiaccio d'acqua mescolate con polvere arancione-marrone sollevata dalla superficie da forti venti. La calotta polare nord è vista come uno schema a spirale di bande chiare e scure in alto a sinistra.

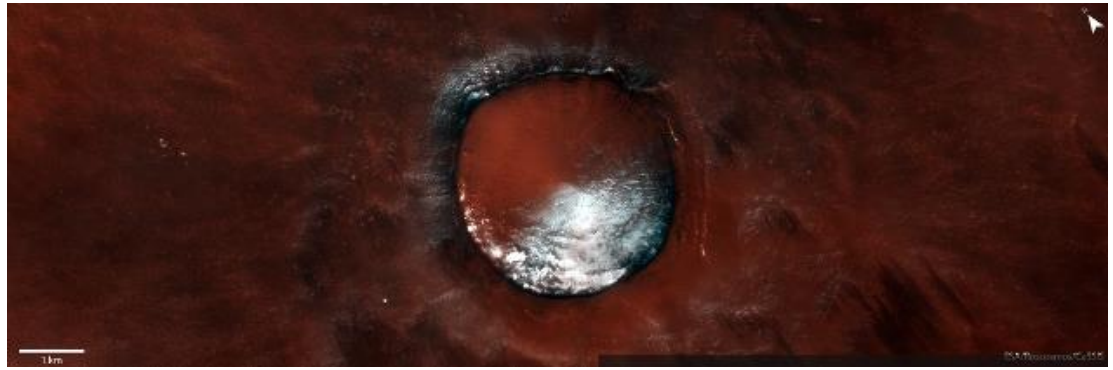
Caratteristiche morfologiche



Zona di ghiaccio d'acqua riparata sul fondo di un cratere situato su Vastitas Borealis, vista da Mars Express.

Ghiaccio d’acqua

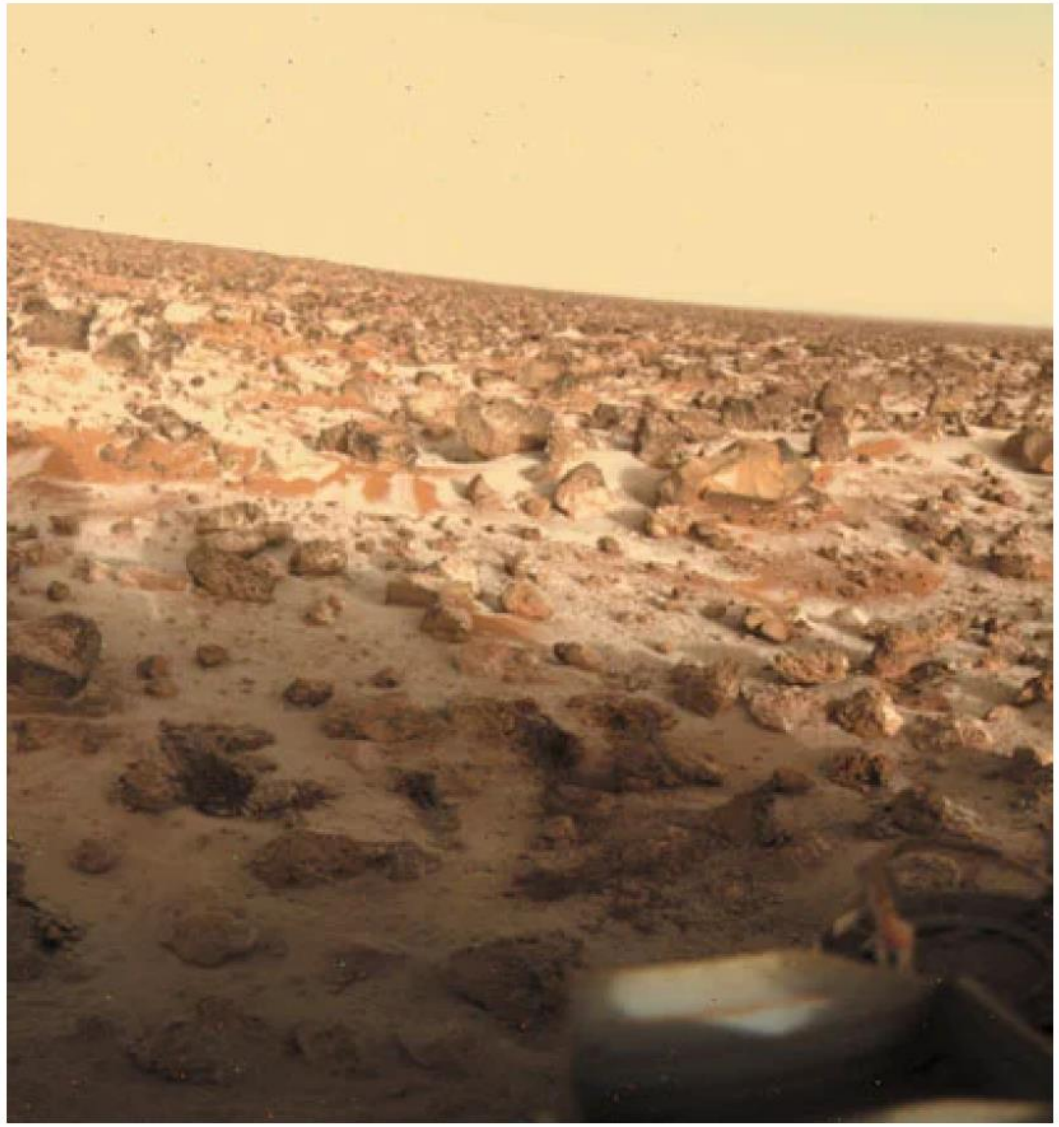
Il Trace Gas Orbiter dell'ESA (missione Exo Mars) ha catturato un'immagine straordinaria scattata il 5 luglio 2021: un cratere largo 4 km situato nella regione Vastitas Borealis, parzialmente riempito da ghiaccio d’acqua.



Il materiale scuro chiaramente visibile sul bordo del cratere, è probabilmente costituito da materiali vulcanici come il basalto.

La maggior parte del terreno circostante è privo di ghiaccio, ma è stato modellato dai processi eolici in atto. Le striature in basso a destra dell’immagine sono formate da venti che hanno rimosso la polvere di ossido di ferro più brillante dalla superficie, esponendo un substrato sottostante leggermente più scuro.

Caratteristiche morfologiche

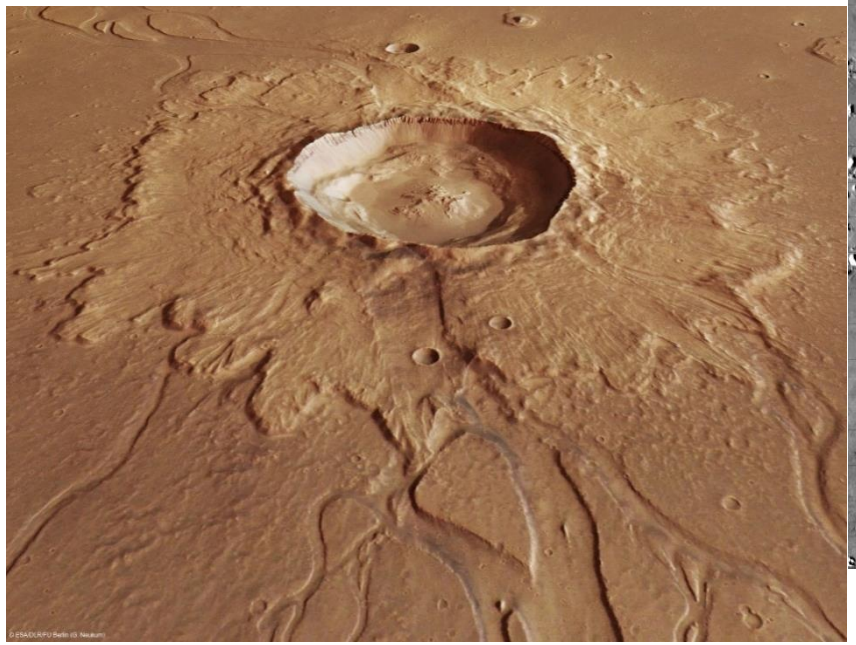


Suolo gelato a Utopia Planitia (48° N)

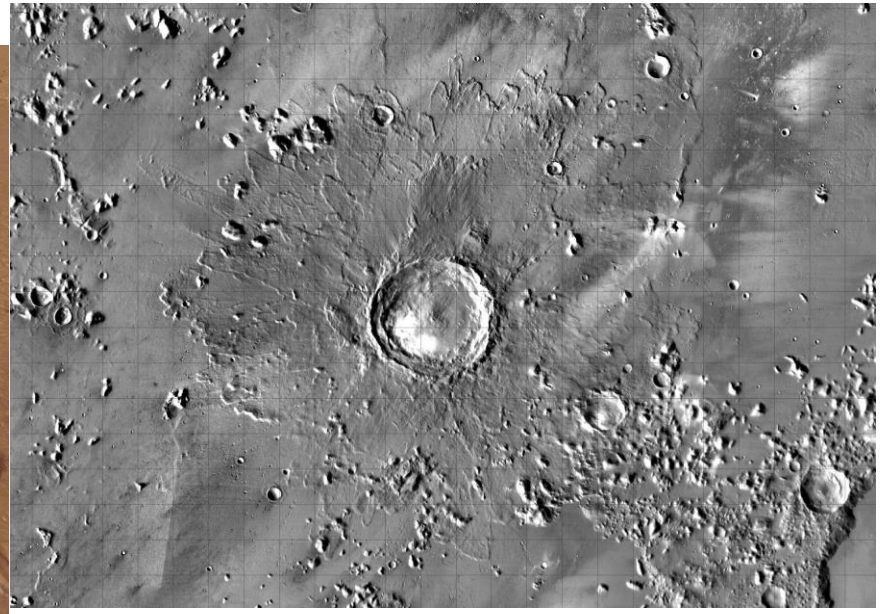
Caratteristiche morfologiche

Ejecta

Marte
635.000 crateri >1km di diametro
43.000 crateri >5 km di diametro



DLE = Double Layerered Ejecta

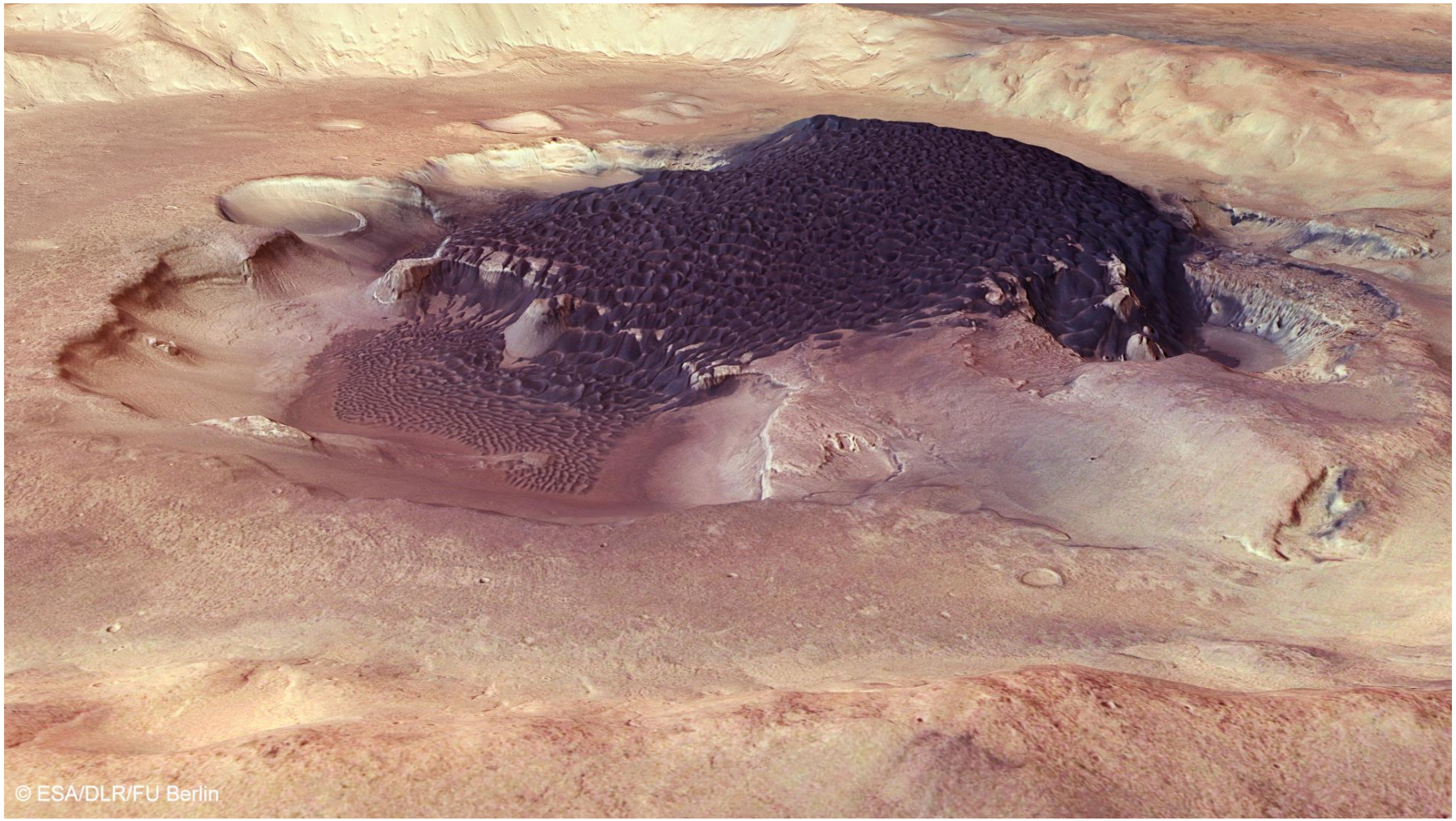


MLE = Multiple Layered Ejecta

Terra
circa 170 crateri con diametro variabile dalla decina di metri a 300 km del cratere Vredefort in Sud Africa

I crateri da impatto marziani mostrano una varietà di morfologie della coltre di materiale espulso. L'aspetto fluidificato della maggior parte dei tipi di materiale espulso fresco è comunemente attribuito al riscaldamento e alla vaporizzazione dei volatili del sottosuolo durante la formazione del cratere.
3 morfologie dominanti dei materiali espulsi fluidizzati (ejecta a strato singolo (SLE), ejecta a doppio strato (DLE) e ejecta a strato multiplo (MLE).

Caratteristiche morfologiche



Rabe crater

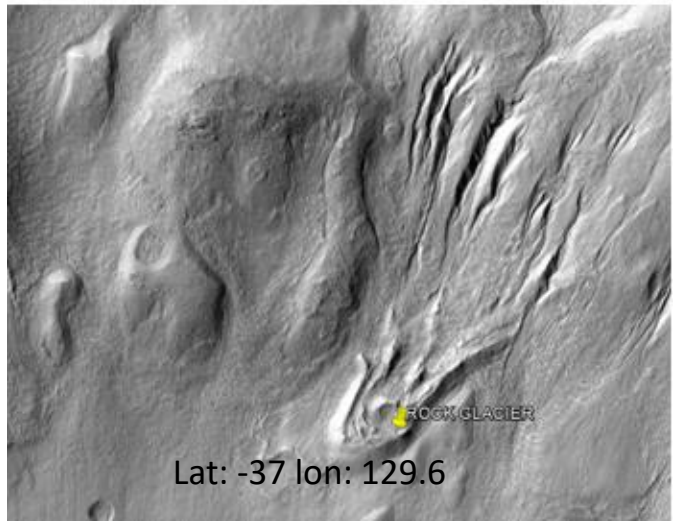
Grande cratere da impatto negli altopiani meridionali di Marte, fotografato il 24 ottobre 2007.
Si osserva parte del fondo del cratere.
C'è un enorme campo di dune nel centro di Rabe. Le dune potrebbero essere i resti di depositi che riempiono i crateri, oppure potrebbero essere sedimenti portati dal vento intrappolati nel cratere.

Caratteristiche morfologiche

Ghiacciai e forme periglaciali

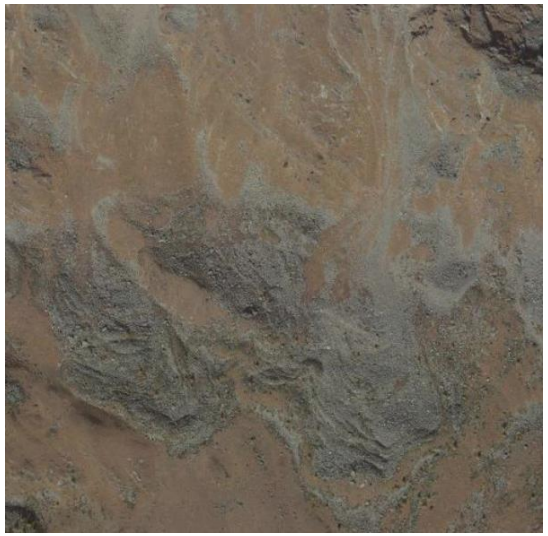
Presenza di probabili forme glaciali e periglaciali (rock glacier e pingo)

Probabile ghiacciaio in Valles Marineris

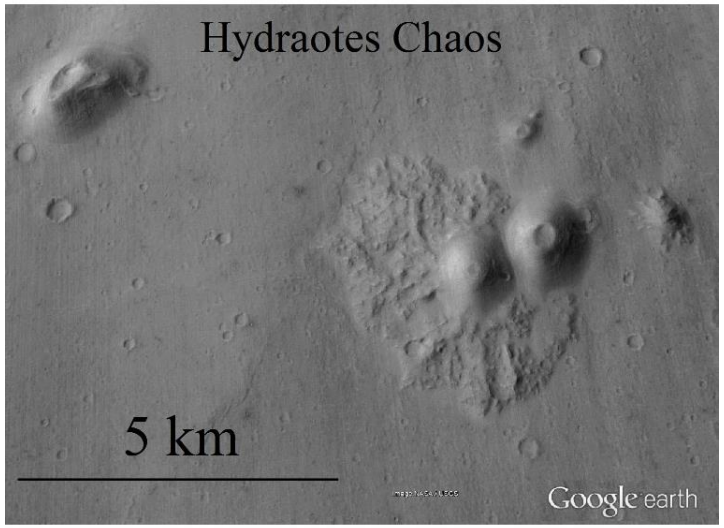


Rock glacier: flussi che prendono origine da falde di detrito o depositi morenici, se attivi contengono ghiaccio; fronti ripide, rughe, lobi e archi

Rock glacier Alpe Rogneda, Tresivio

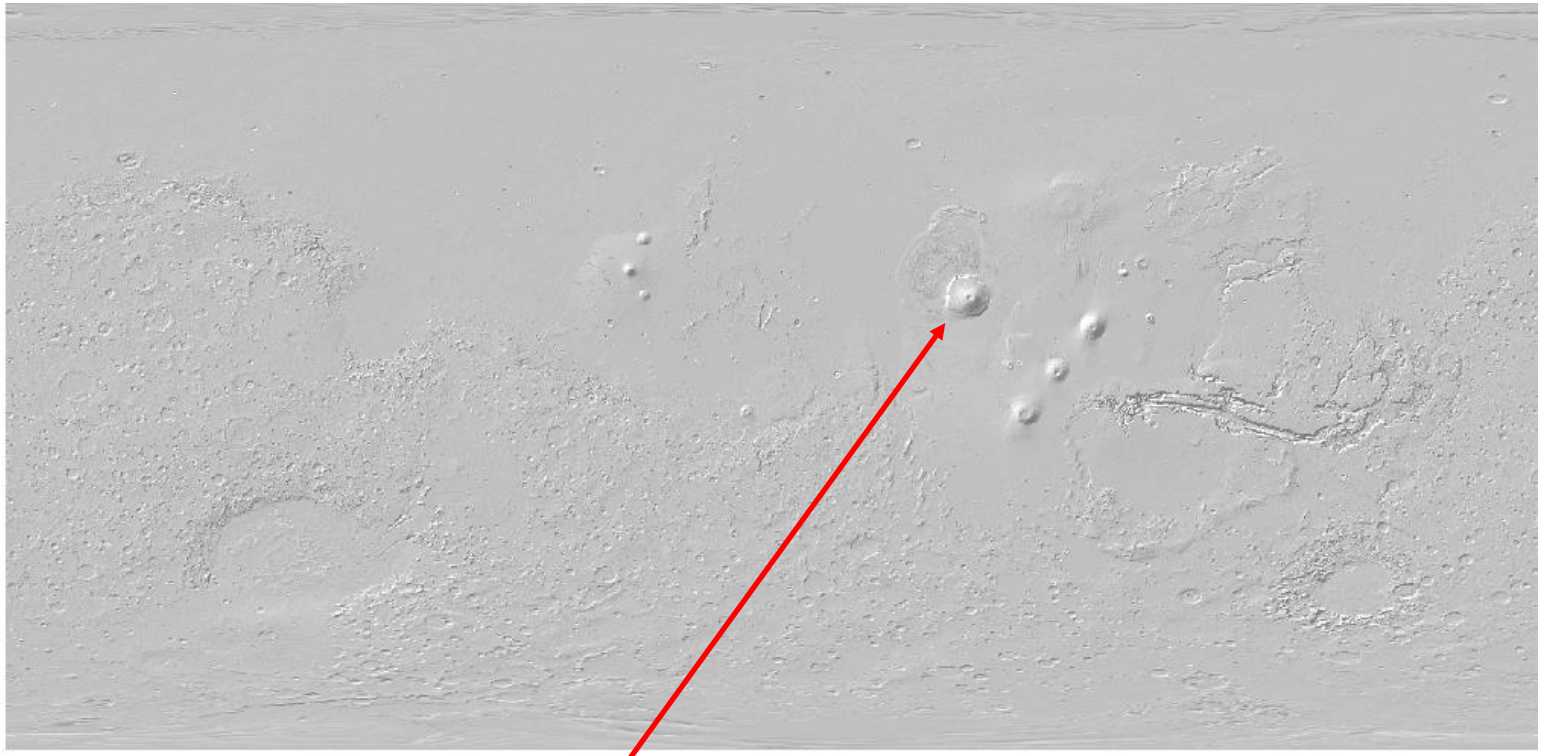


Pingo: terreni a granulometria fine, l'acqua in pressione proviene dal basso e si congela formando il rilievo



Pingo National Landmark Tuktoyaktuk Canada

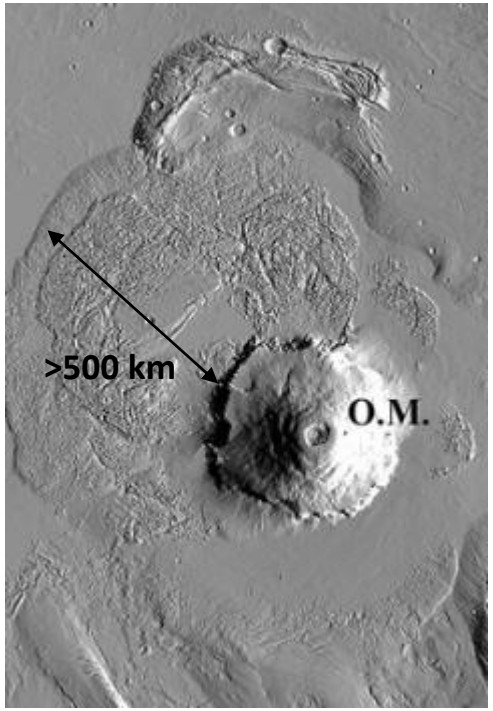
Frane su Marte



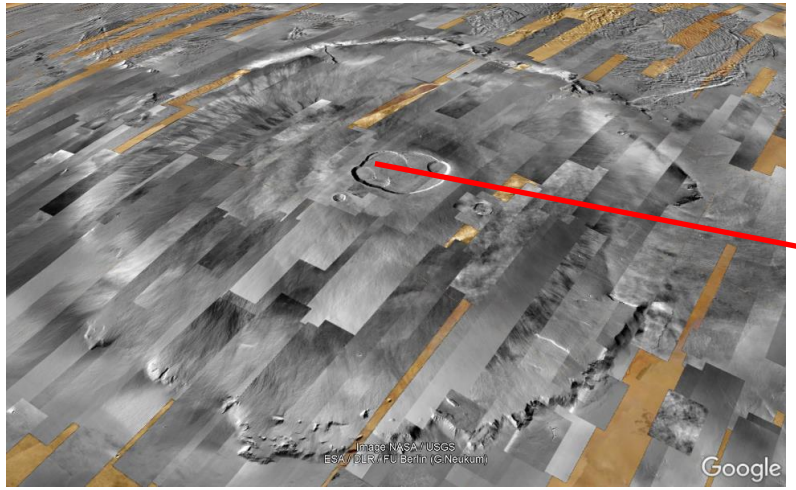
Mappate nel database > 3000 frane di diversa tipologia

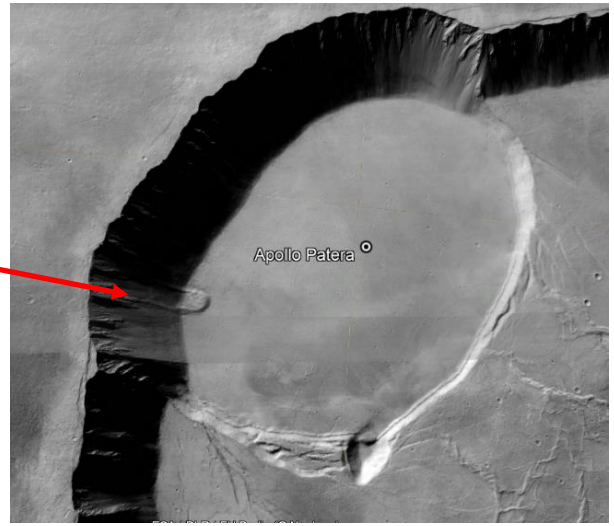
Hillshade del pianeta
DEM (singolo pixel 460 m x 460 m) per analisi delle frane mappate

Dimensioni delle frane estremamente variabili:
da 100 m a >50 km e in alcuni casi >500 km come le aureole (frane sottomarine) di Olympus Mons



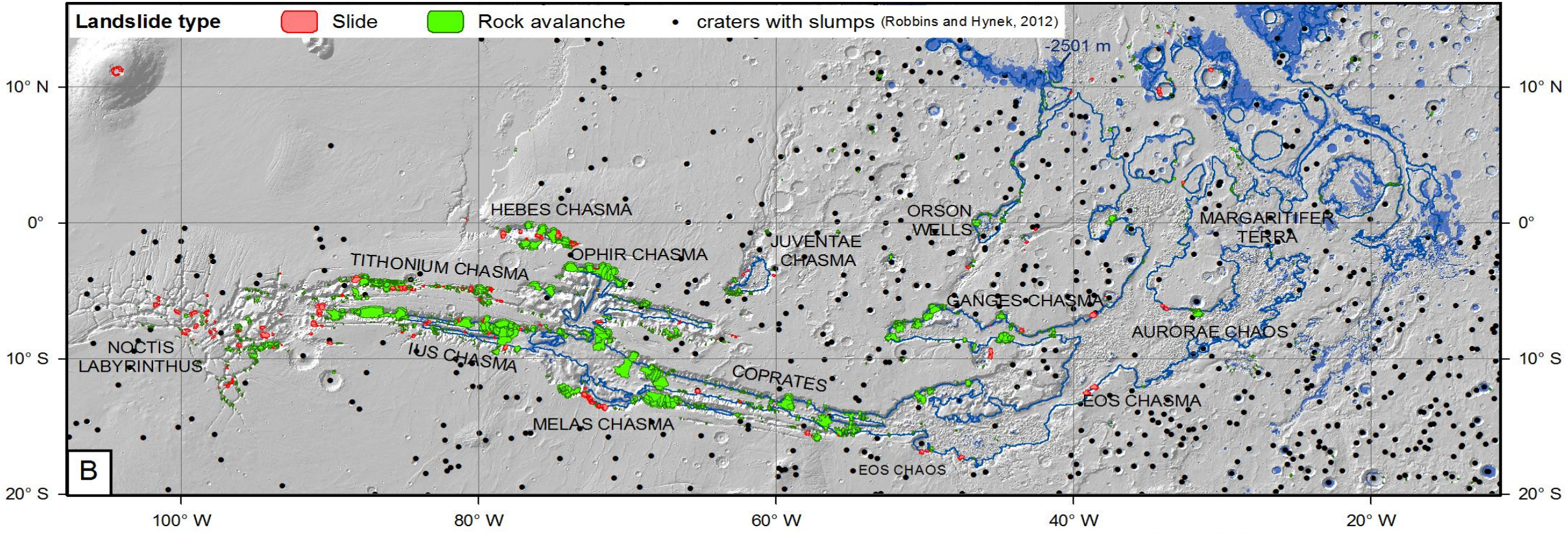
Olympus Mons
Caldere centrali
Frana:
rock avalanches





Frane su Marte

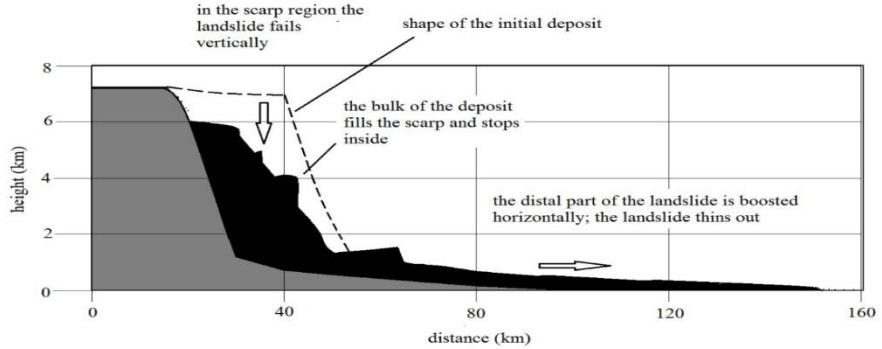
Distribuzione delle principali frane mappate



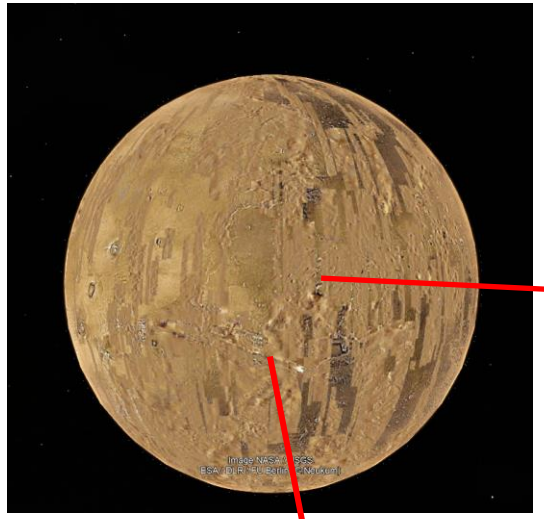
Principali tipologie di frane presenti:

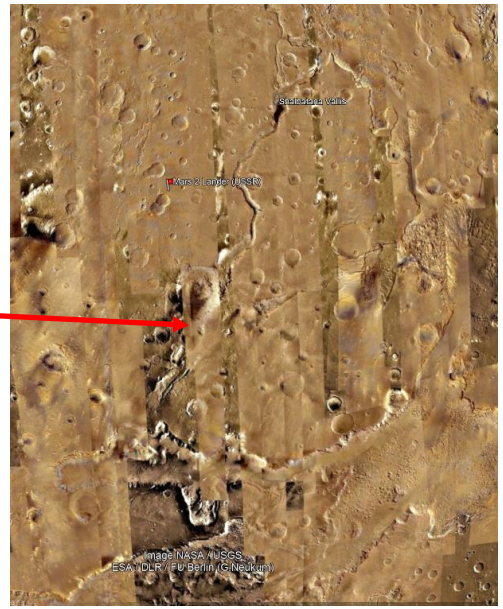
- rock avalanches
- Scivolamenti
- Frane complesse
- DGPV
- Debris flows

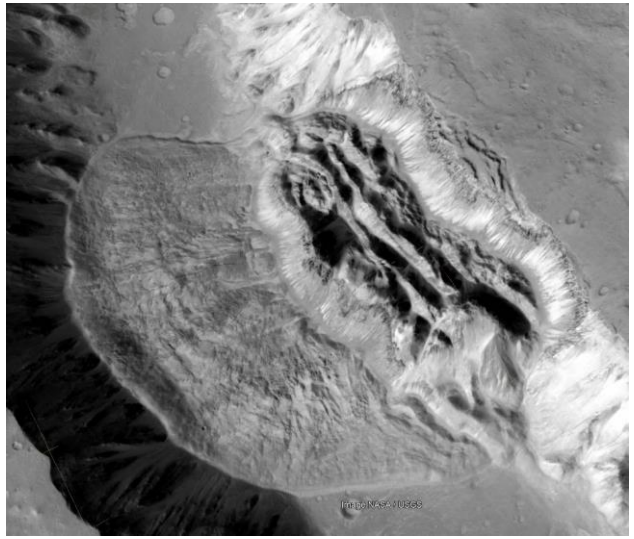
Esempio schematico di rock avalanches nella valle Marineris



Frane su Marte

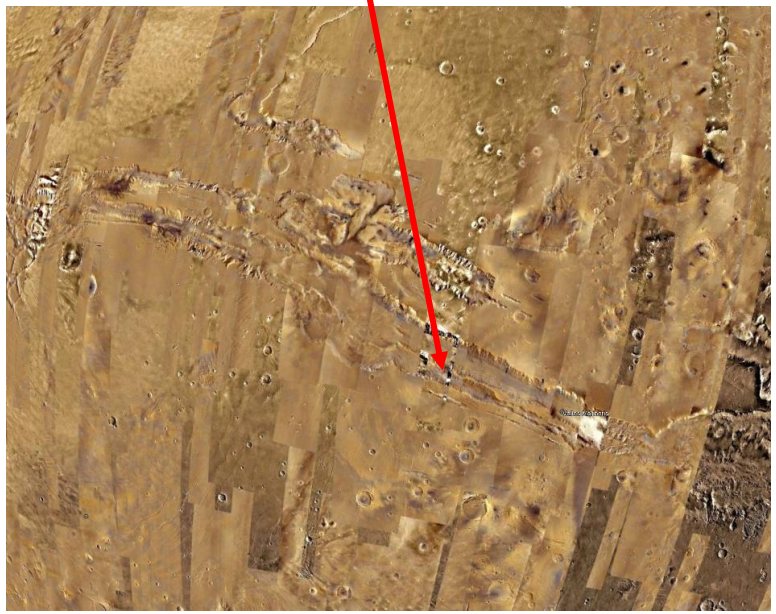


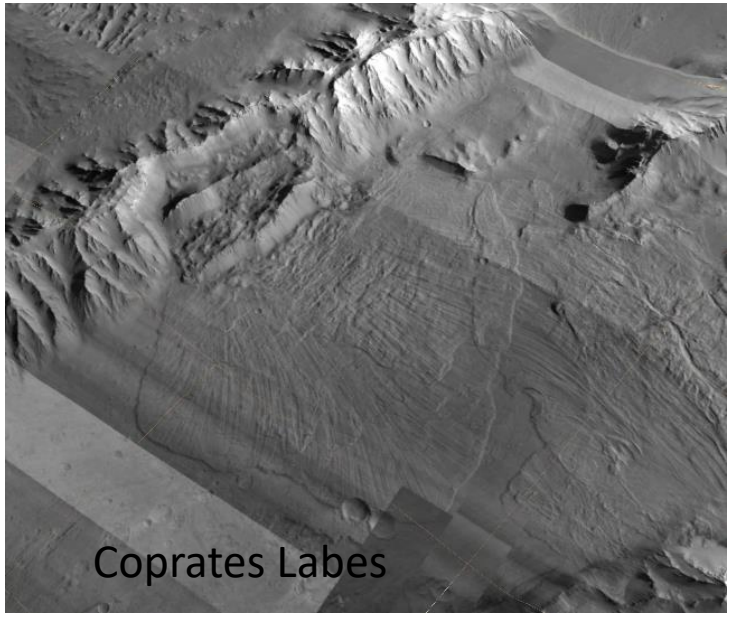




Shalbatana Valleys

Valles Marineris





Coprates Labes

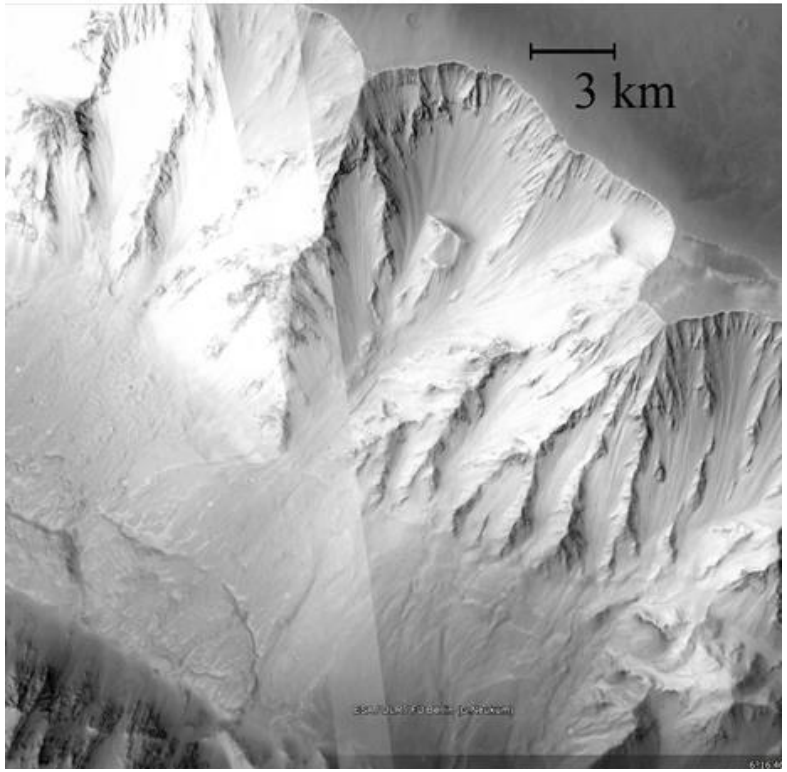
Frane: rock avalanches

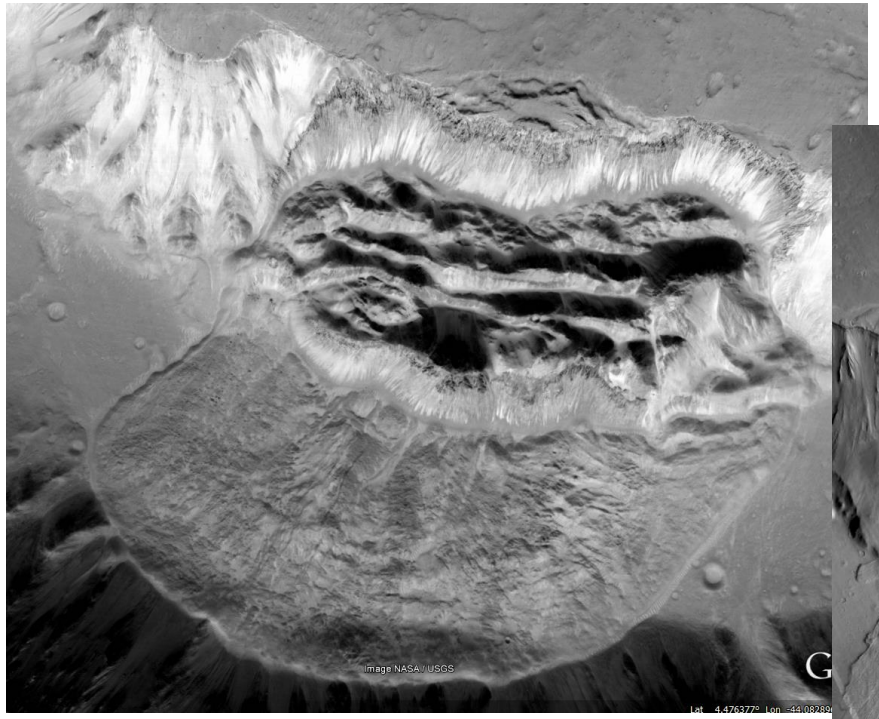
si possono distinguere diverse strutture interne all'accumulo

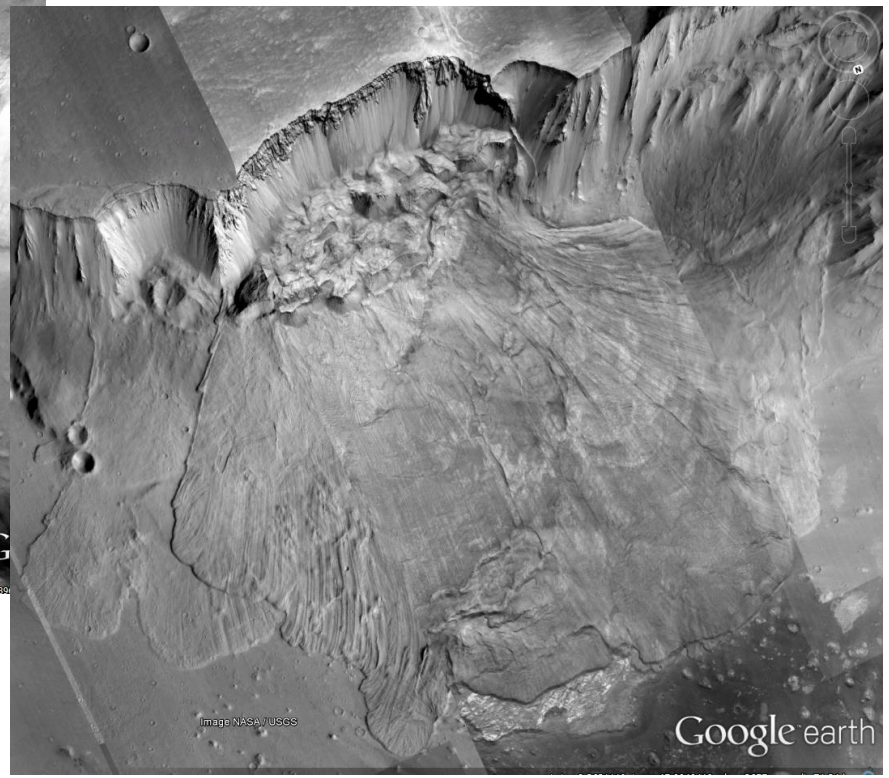
- Blocco di crollo o toreva block
- lineazioni longitudinali (parallele alla direzione di flusso)
- lineazioni trasversali (perpendicolari alla direzione di flusso)
- zone di disturbo/piegamento in fronte agli accumuli, pressure ridge
- fronti multipli, runup interni all'accumulo
- riflessione di parte dell'accumulo
- Assenza di strutture

Frane su Marte

Nelle frane marziane si possono osservare molte strutture diverse che rivelano l'elevata velocità durante il flusso



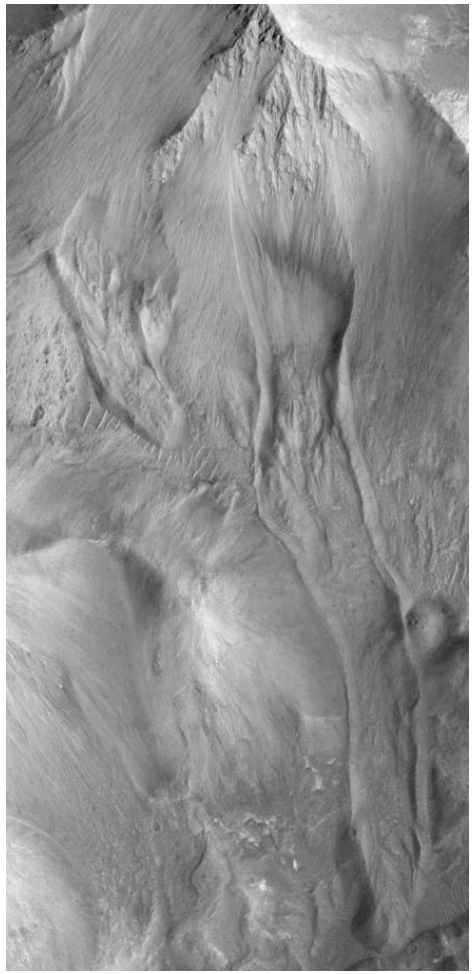




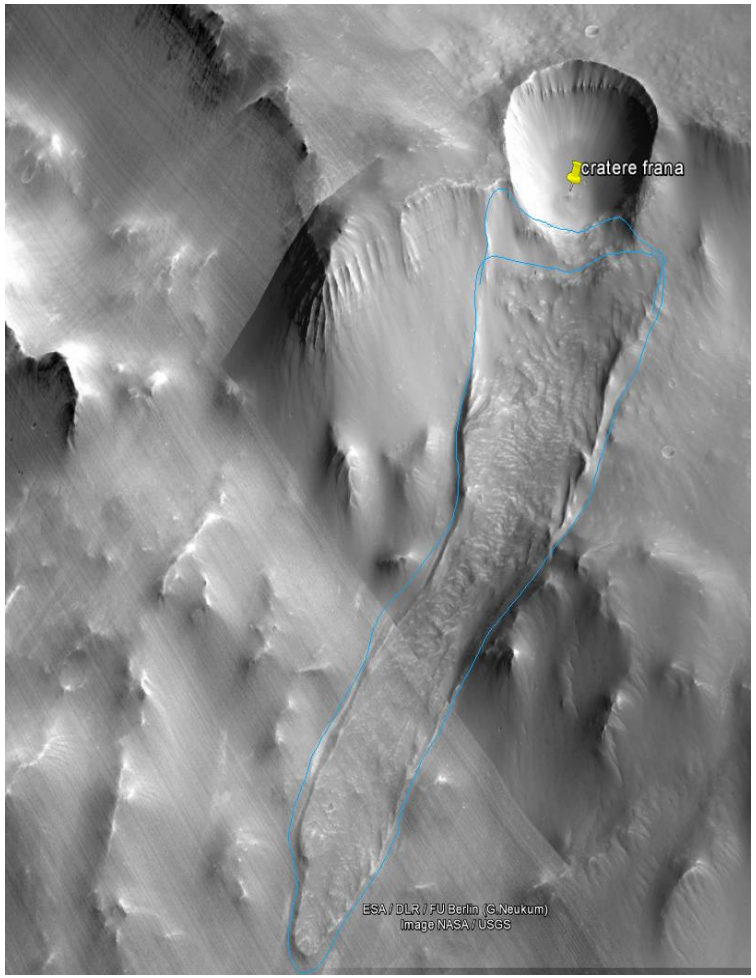
Frane su Marte

Esempi di rock avalanches e debris flow

Rock avalanche



Rock avalanche

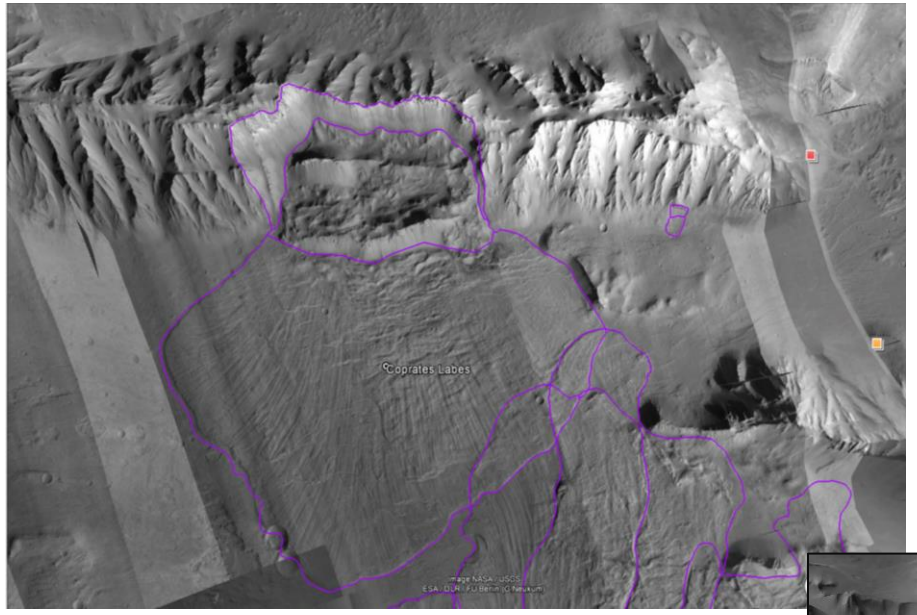


Rock avalanches da impatto di meteorite

Debris flow

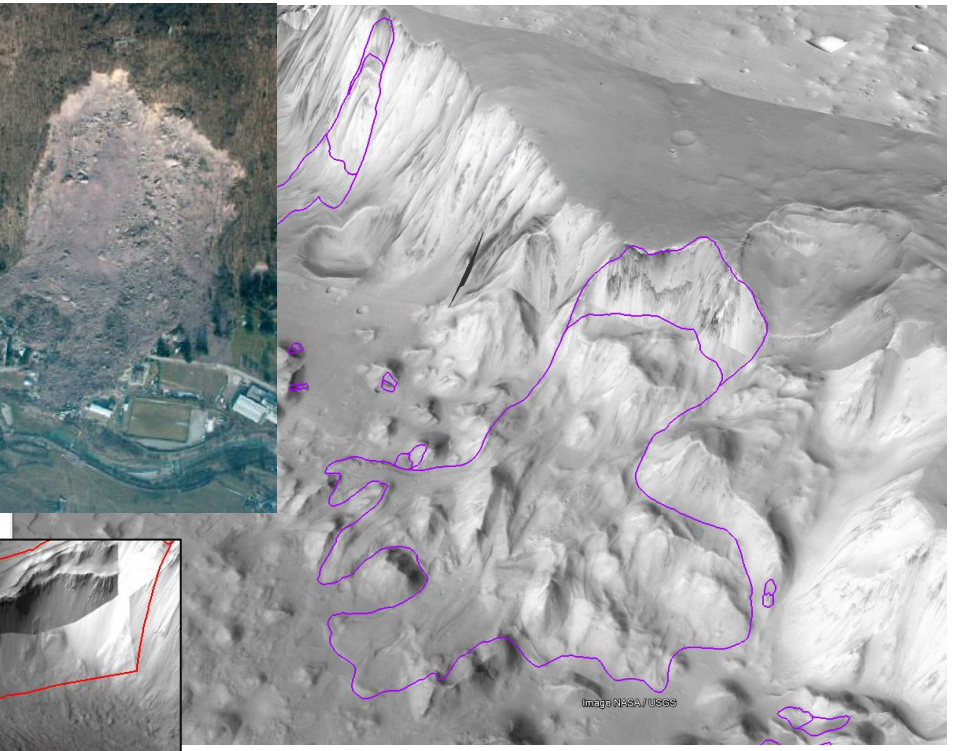
Tipica forma allungata e lobata con argini ben sviluppati e strutture interne all'accumulo. Tipica forma di un debris flow con sovrapposizione di diversi eventi

Frane su Marte

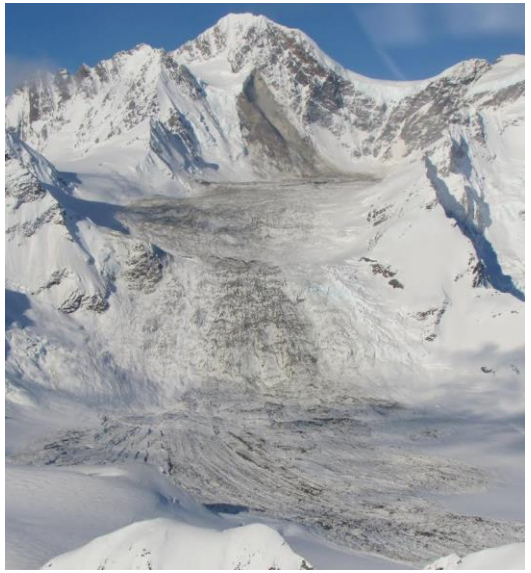


Rock avalanche

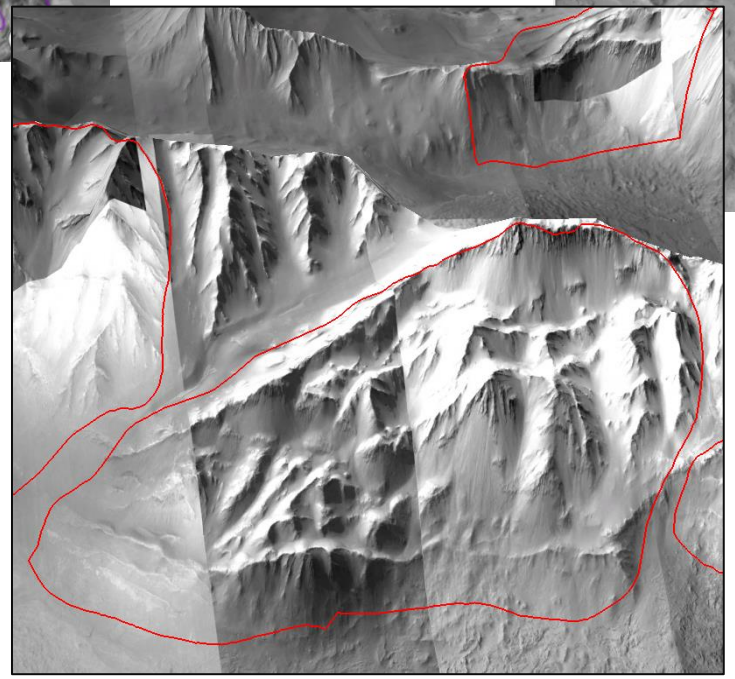
Cortenova, (LC) 2002



Frane complesse



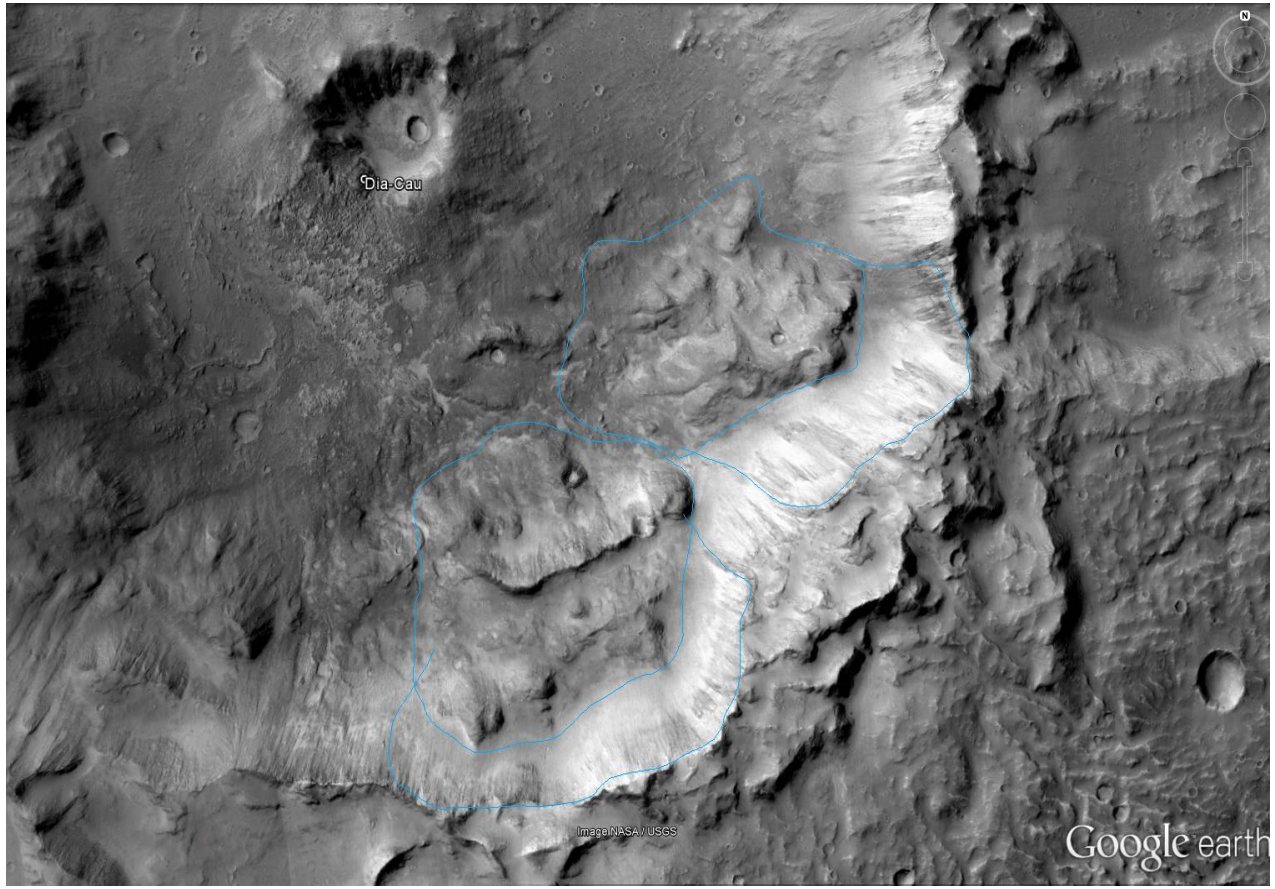
Mount La Perouse 2014 (Alaska)



DGPV (deformazioni gravitative profonde di versante)

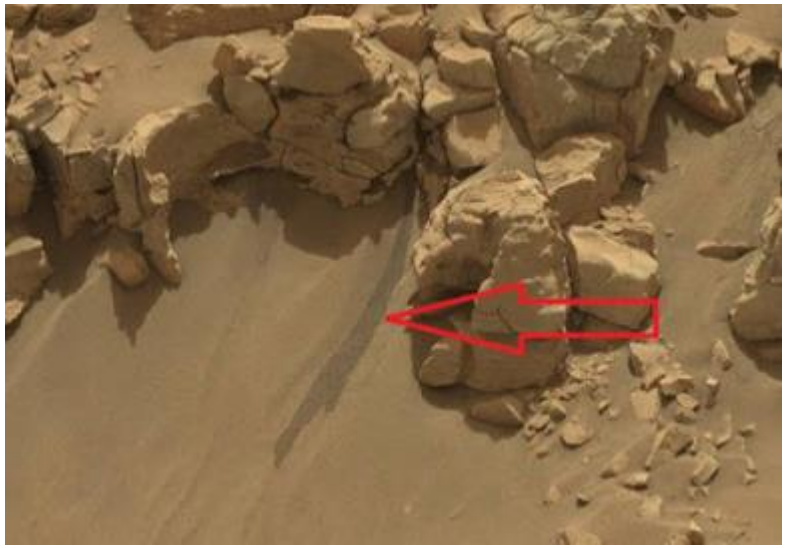
Vigna Soliva (BG)

Frane su Marte

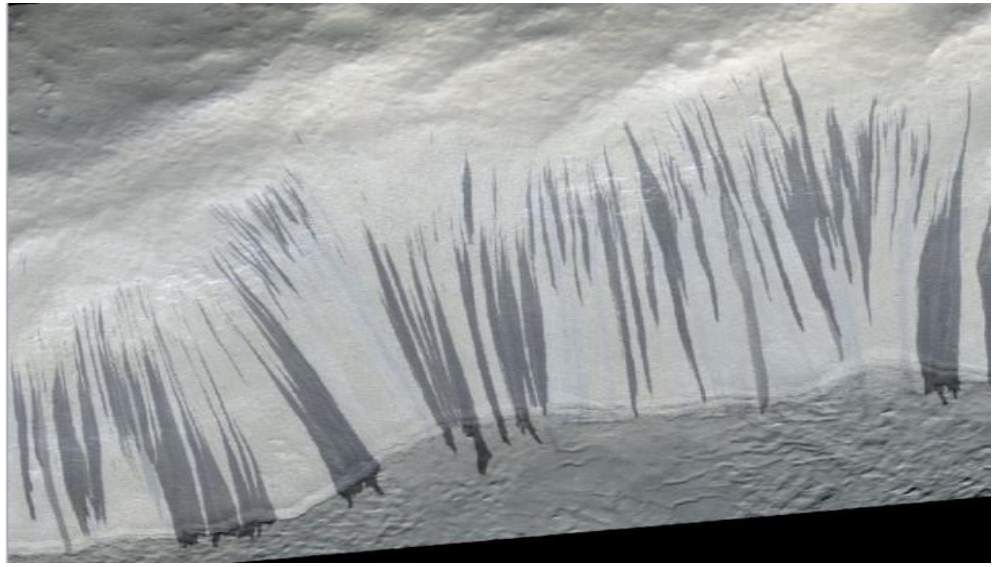


Frane di scivolamento interne ai crateri

Collasso del bordo del cratere



Flusso secco di sali idrati



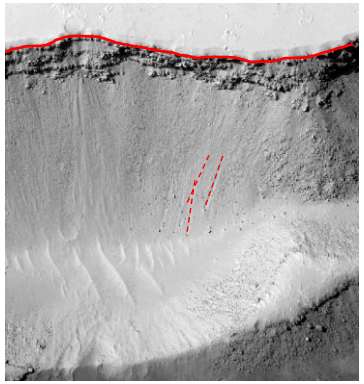
Frane su Marte

Crolli

Immagini HiRISE pixel 0.25 m

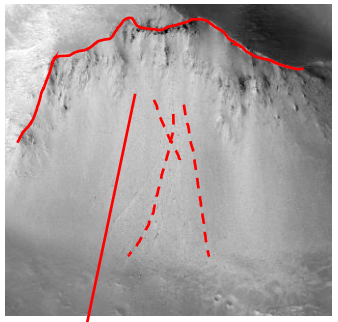
Scivolamento dei singoli blocchi lungo il pendio

Immagine PSP_006287_1955_RED.JP2 HiRISE



Scarpata di crollo

Traiettorie singoli blocchi



Caratteristiche moto blocco:

- Forma
- Dimensione
- Litologia
- Geometria pendio

Rotolamento dei blocchi lungo il pendio

Cratere Schiaparelli

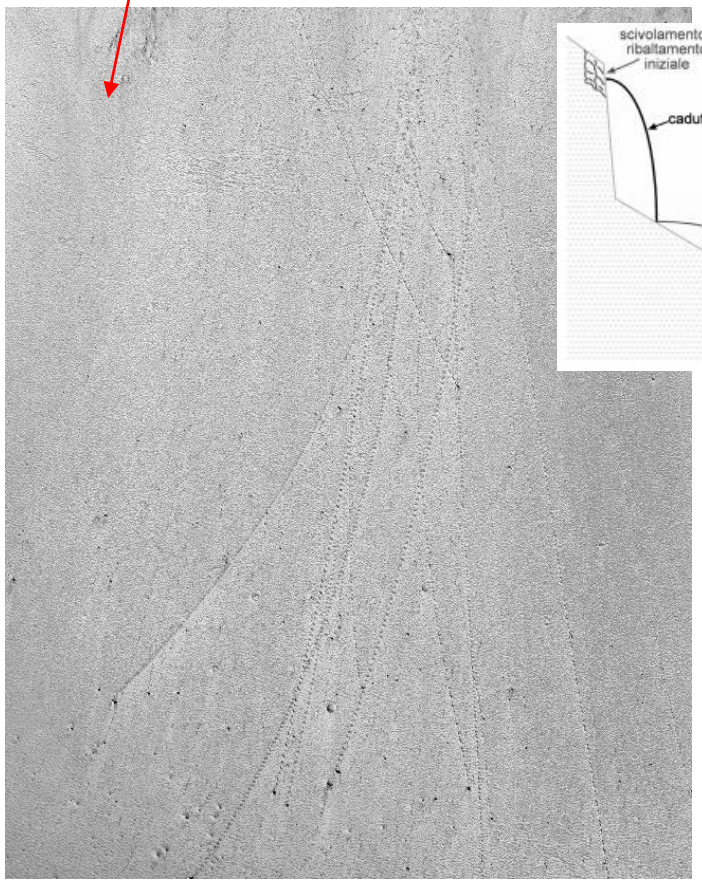
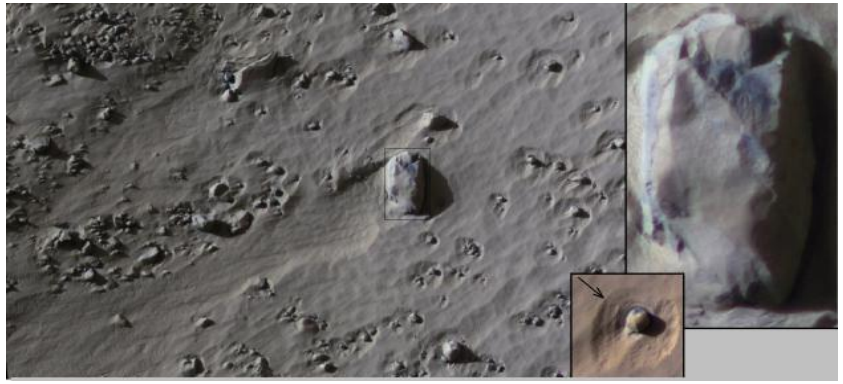
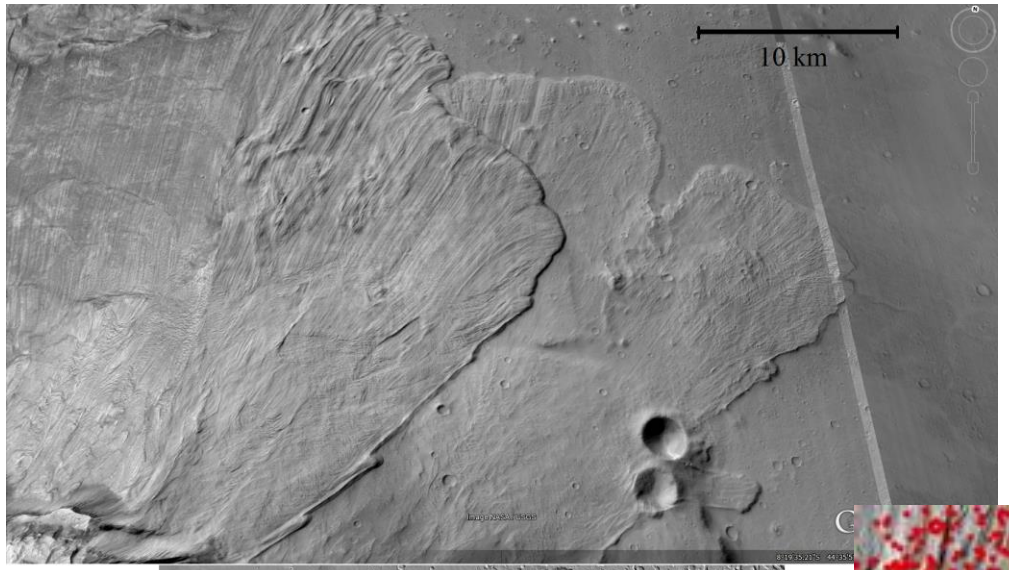


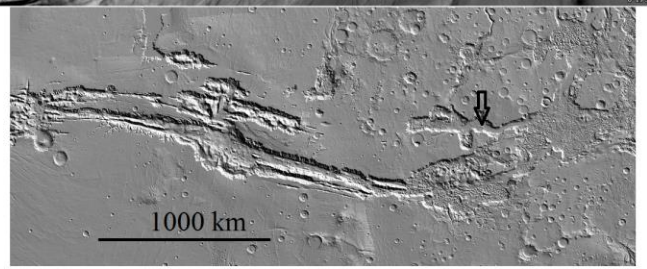
Immagine PSP_002086_1740_RED.JP2 HiRISE

Particolare di blocchi da crollo in Arsia Mons: Immagine PSP_009541_1775_RED.JP2 HiRISE



Frane su Marte

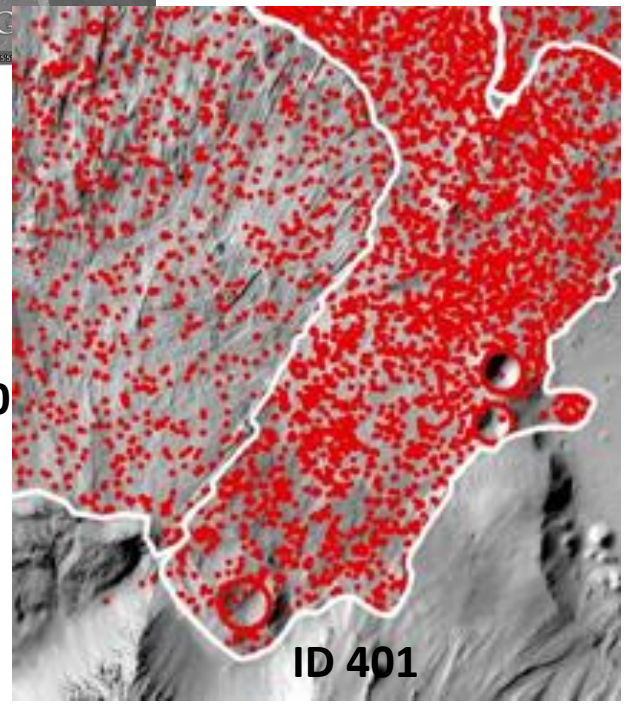


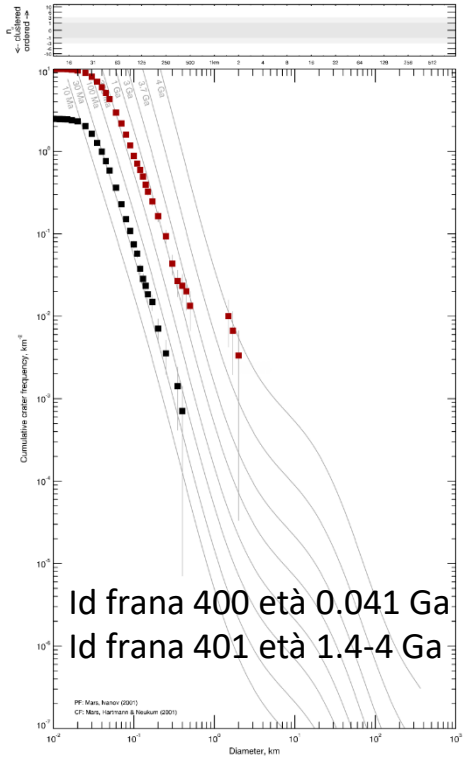


Densità di craterizzazione

Il conteggio del numero dei crateri sulla superficie di un corpo planetario permette di farci un'idea sull'intervallo temporale della sua esistenza. In particolare la distribuzione statistica grandezza–frequenza dei crateri di impatto provvede a fornire una metodologia per determinare la sua età relativa.

ID 400





Esempio di curva indicante la densità di craterizzazione per le frane ID 400 e ID 401. Il grafico è stato realizzato con il programma CraterstatsII (Greg Michael del Planetology and Remote Sensing Institute of Geoscience, Freie Universitaet Berlin).

Stiamo datando un centinaio di frane e terreni in diverse zone di Marte per cercare di ricostruire una parte dell'evoluzione geomorfologica del pianeta

Frane su Marte

La conoscenza delle frane sulla Terra può aiutare a comprendere le dinamiche del flusso delle frane marziane e dedurre l'ambiente di formazione

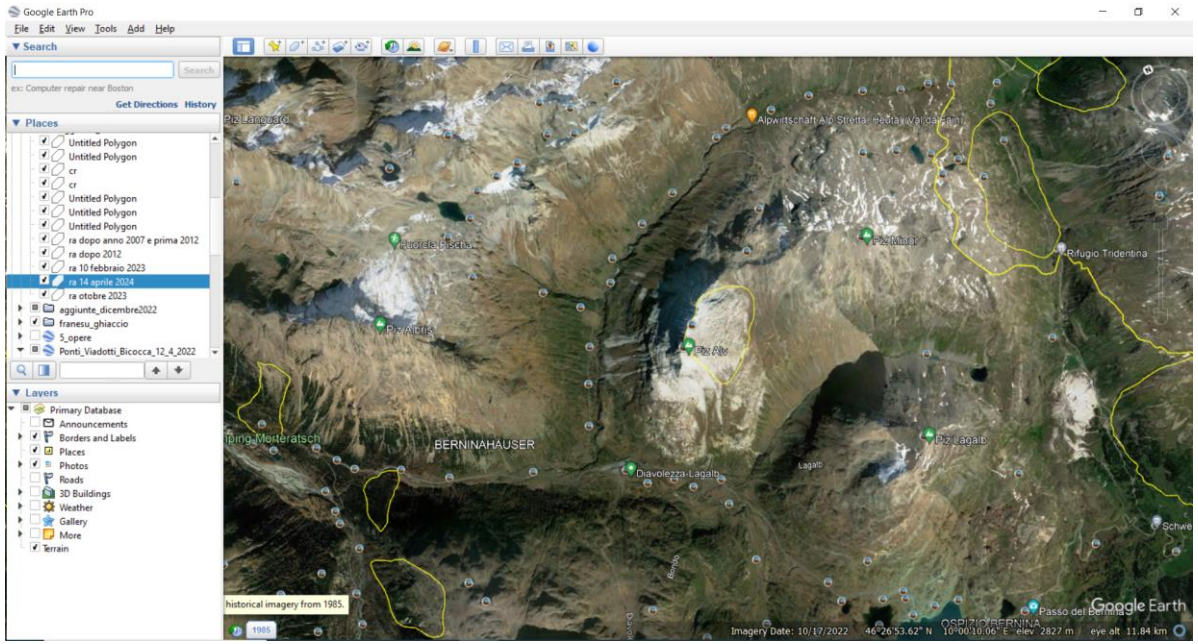
Le frane si concentrano in aree di alto rilievo e con angoli relativamente ripidi

Sono indotte da gravità, impatto di meteoriti…. quali altre cause? Al momento non sono ancora ben conosciute

Le frane su Marte e in particolare sulla Valles Marineris sono morfologicamente simili alle frane lubrificate dal ghiaccio sulla Terra

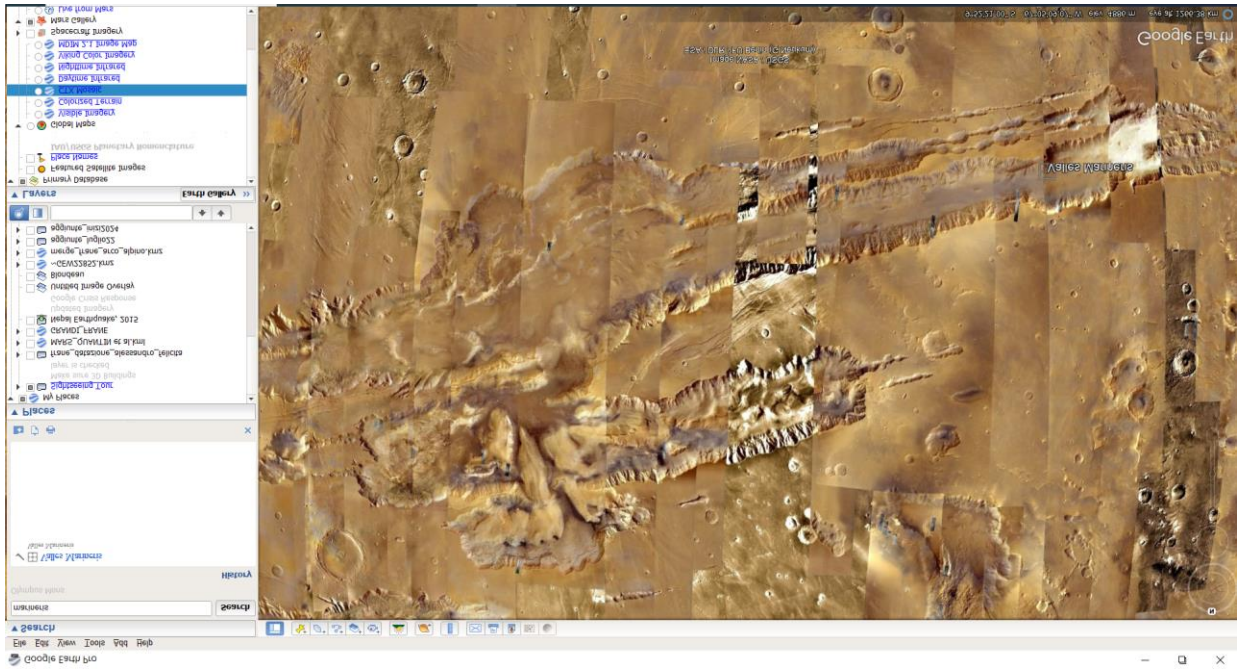
Frane su Marte

Volete approfondire? Programma Google Earth è un software che genera immagini virtuali della Terra utilizzando immagini satellitari ottenute dal telerilevamento terrestre, fotografie aeree e dati topografici memorizzati in una piattaforma GIS. Il programma è distribuito gratuitamente dalla società Google.



Possiamo guardare le immagini del pianeta Marte con Google Mars, attraverso l'obiettivo dalla telecamera Themis della NASA.

E' possibile seguire i percorsi dei rover che hanno scattato foto della superficie e vedere immagini panoramiche in alta risoluzione. E tante altre cose!!!!!



La NASA offre due strumenti online: Mars Trek, che fornisce visualizzazioni del pianeta usando i dati di 50 anni di esplorazione, e Experience Curiosity, che simula il viaggio su Marte in 3-D.

Grazie per l’attenzione!