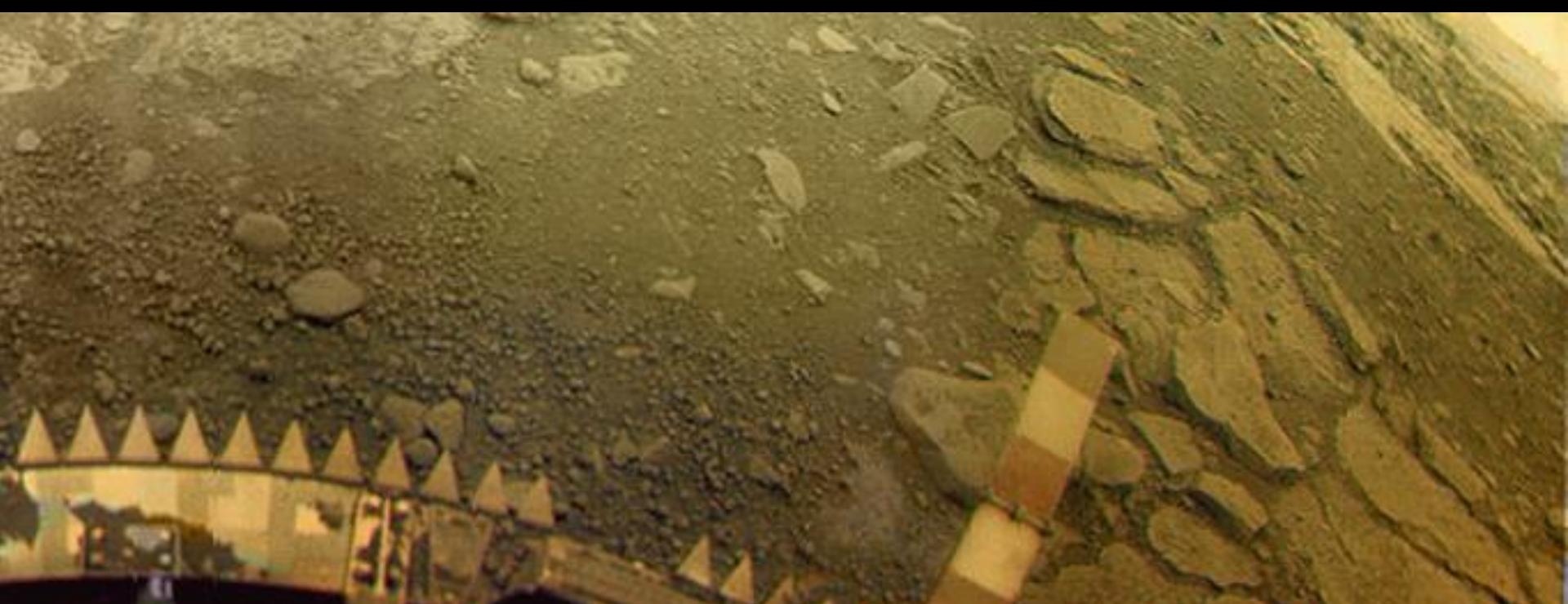


# VENERE IL PIANETA INFERNALE



RELATORE: STEFANO TOSI

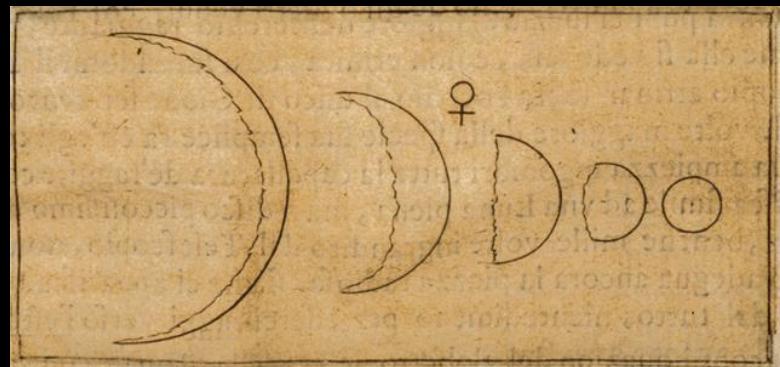
## CENNI STORICI

Conosciuto sin dalla Preistoria

Inanna (Sumeri)  
Ishtar (Babilonesi)  
Quetzalcoatl e Xalatl (Maya)  
Chasca (Inca)  
Phosphorus e Hesperus (Greci)  
Lucifer e Vesper (Romani)  
啟明 e 長庚 (Cinesi)  
“stella del mattino/della sera”



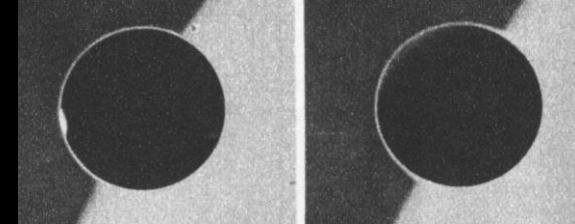
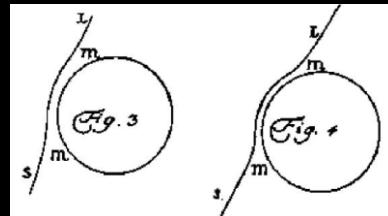
G. Galileo



Telescopio  
Fasi  
Posizionamento  
Teoria eliocentrica di Copernico

M. Lomonosov

Atmosfera



Radiotelescopio di Goldstone

Periodo di rotazione (1961)

Moto retrogrado (1964)



Mariner 2

Temperatura e composizione atmosferica (1962)



# ESPLORAZIONE

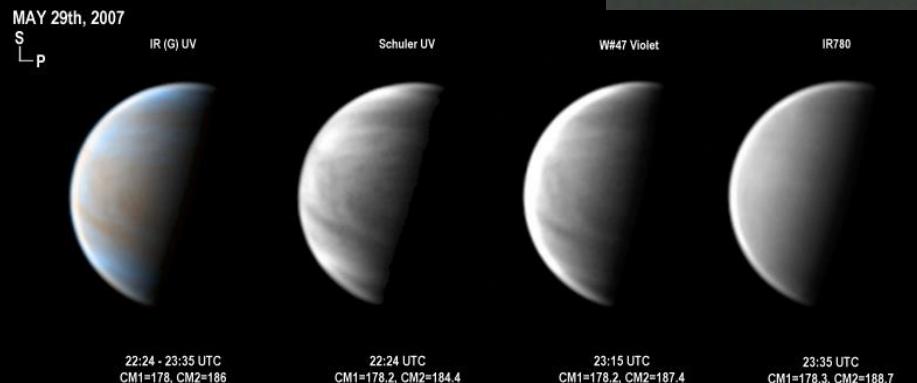
## OSSERVAZIONI DA TERRA:

- Ottico



- Spettroscopia

Dagli anni 30: C, CO<sub>2</sub>



## Transiti:

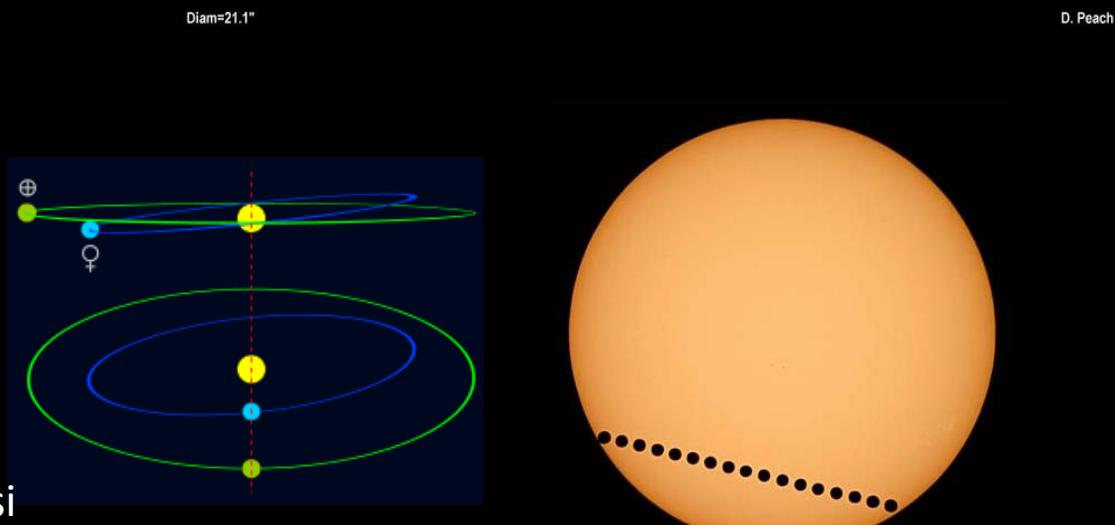
Avvengono in coppia

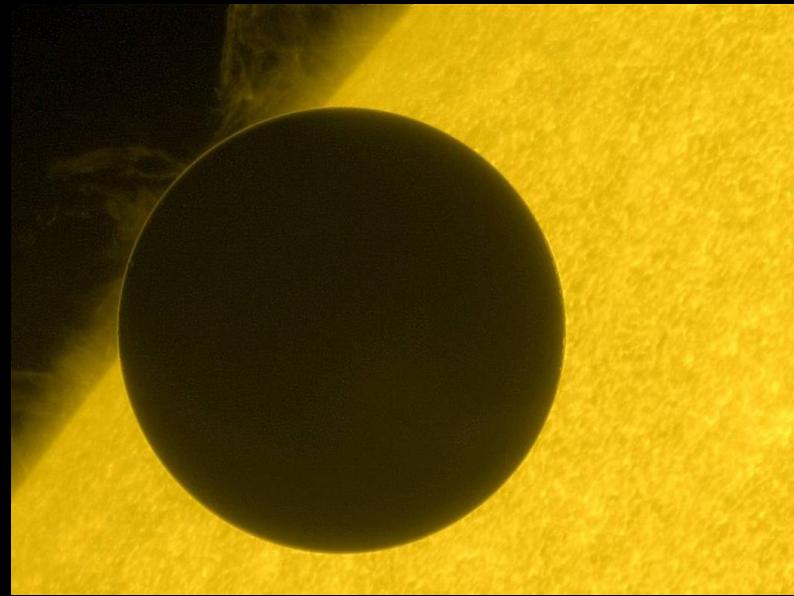
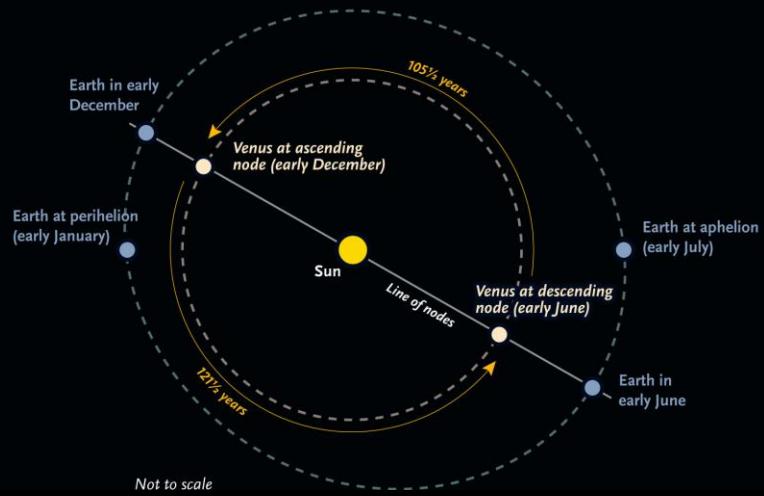
(121,5- 105,5 anni)

2004-2012 (prossimi: 2117 e 2125)

2846: 105,5 – 129,5

I transiti avvengono quando Venere e Terra sono in congiunzione e quando si intersecano i rispettivi piani orbitali.





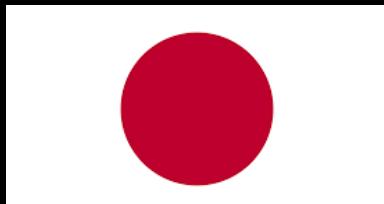


URSS  
4.2.1961– 21.12.1984



USA  
22.7.1962– 3.8.2004

## OSSERVAZIONI TRAMITE SONDE



GIAPPONE  
20.5.2010 – in corso...



UE  
9.11.2005 – 16.12.2014



UE  
2018



INDIA  
2020



RUSSIA  
2026

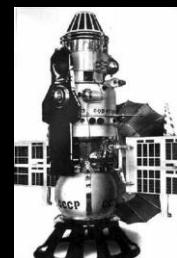
**Venera 1** (1961) : flyby senza dati



**Venera 4** (1967): discesa in atmosfera (15/93 atm), prima trasmissione di dati a Terra da un ambiente extraterrestre / zolletta di zucchero



**Venera 7** (15.12.1970, 5:34:10 UTC, 35 min): costruita per sopportare 180 atm, fu la prima sonda a trasmettere correttamente un segnale a Terra dalla superficie di un altro pianeta.



**Venera 9 – 10** (1975): equipaggiate con disco di frenata in atmosfera ed ammortizzatori, prime foto in b/n



**Venera 13 – 14** (1982): prime foto a colori della superficie venusiana. Venera 13 fu la prima sonda a registrare un suono extraterrestre: un tuono.



**Vega Program** (1984): esplorazione atmosferica e lander

Vega 1, Vega 2



## Mariner Program (1962)

flyby e dati a Terra

Mariner 1-2-5-10



## Pioneer Venus (1978)

studio dell'atmosfera

Pioneer Venus Orbiter ,

Pioneer Venus Multiprobe



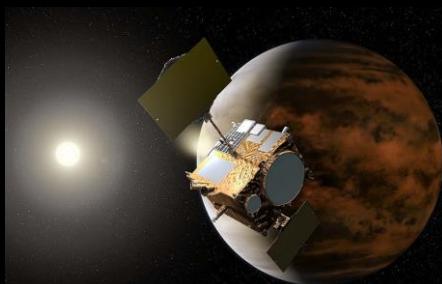
## Magellan (1982)

mappatura radar della superficie



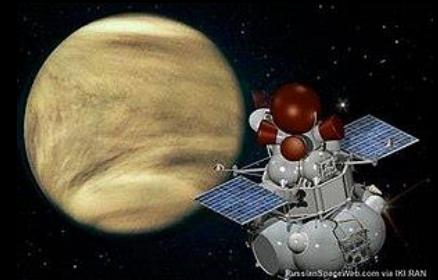
## Venus Express (2006)

mappatura radar della superficie



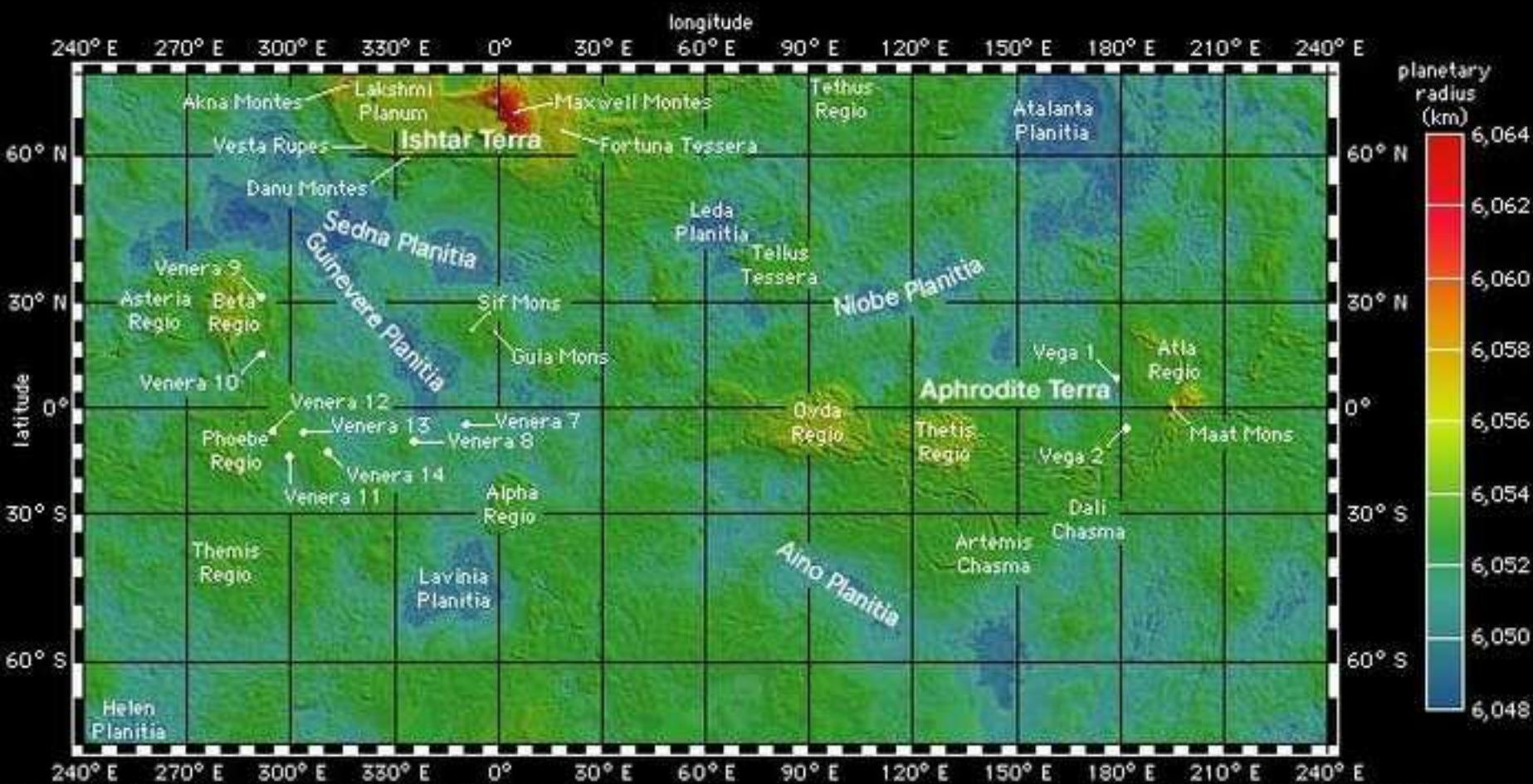
Akatsuki (Giappone, 2010)

Indian Venusian  
Orbiter Mission (India, 2020)



Venera-D + lander (Russia, 2026)

## FOTO DALLA SUPERFICIE



- **Venera 9** (22.10.1975, 5:13 UTC, entro 150 km da 31.01°N 291.64°E, vita: 53 min)

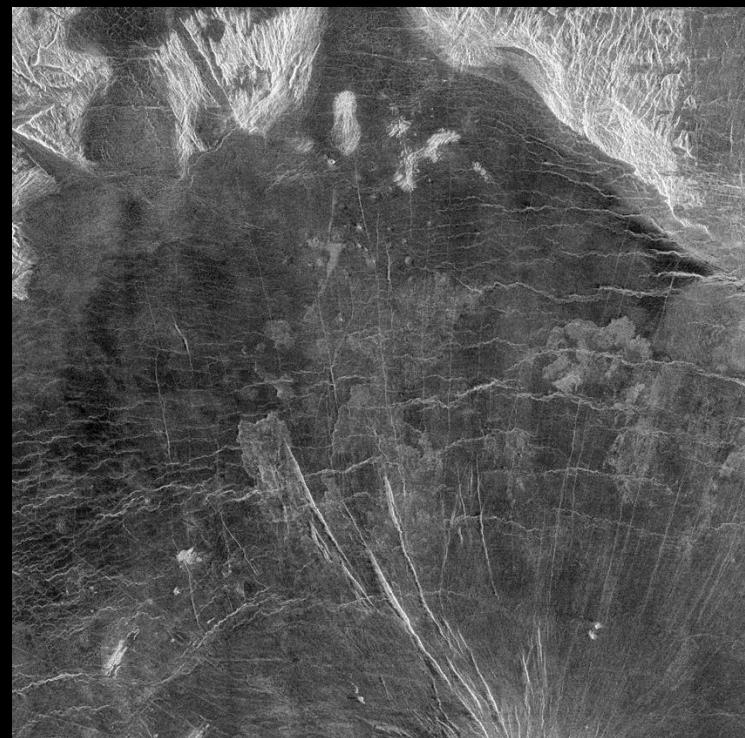
- Lo strato di nubi spesso 30-40 km cessa a 35 km di quota;
- Presente HCl, HF, Br, I in atmosfera;
- Pressione atmosferica pari a 89 atm e temperatura di 485°C;
- Illuminazione al suolo pari a quella in un giorno nuvoloso alle medie latitudini terrestri;
- Visione nitida prima di raggiungere il suolo;
- Funzionamento di una sola fotocamera (180° visuale, fronte);
- Rocce di 30-40 cm non erose e di origine vulcanica.



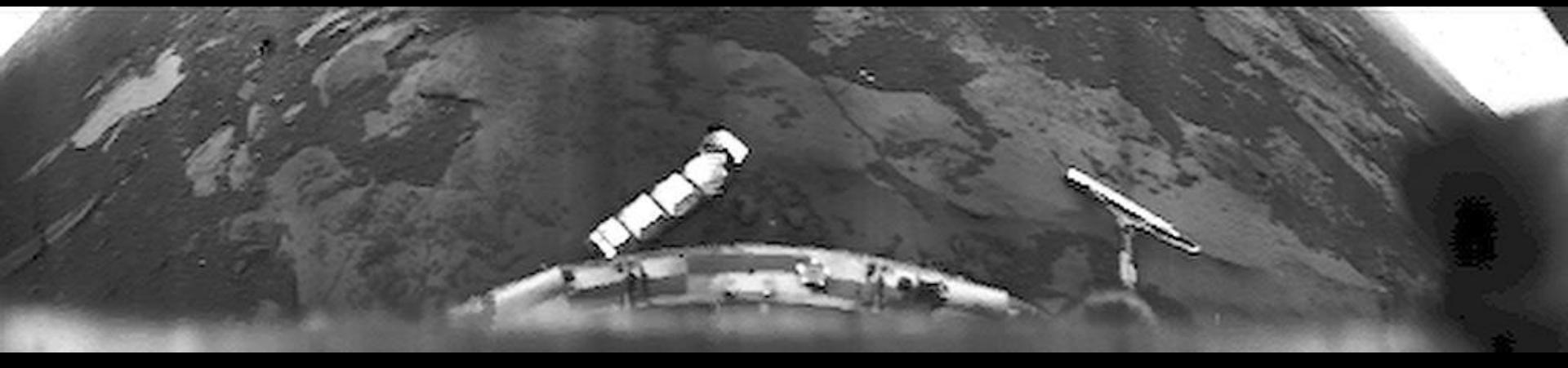
Beta Regio, presso Aikhylu Chasma



- **Venera 10** (25.10.1975, 5:17 UTC, entro 150 km da 15.42°N 291.51°E a 2200 km da Venera 9)



Confine tra Beta Regio e Hyndla Regio



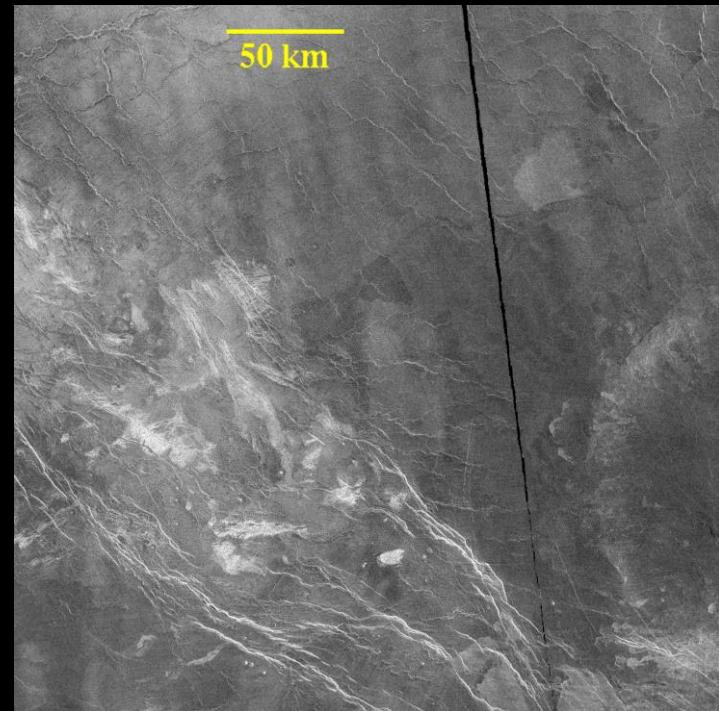
Venera 9



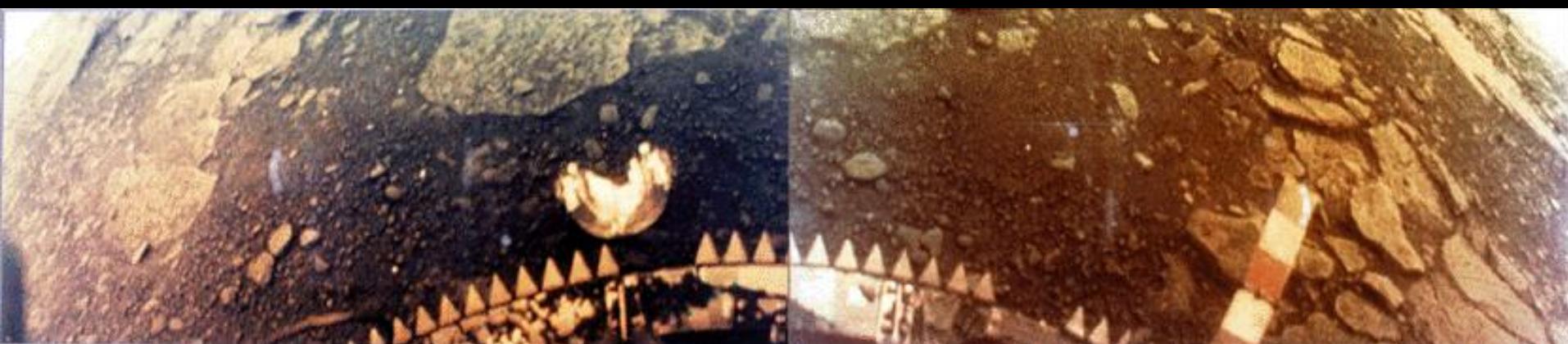
Venera 10



- Venera 13 (7.5°S 303°E, vita: 127 minuti)

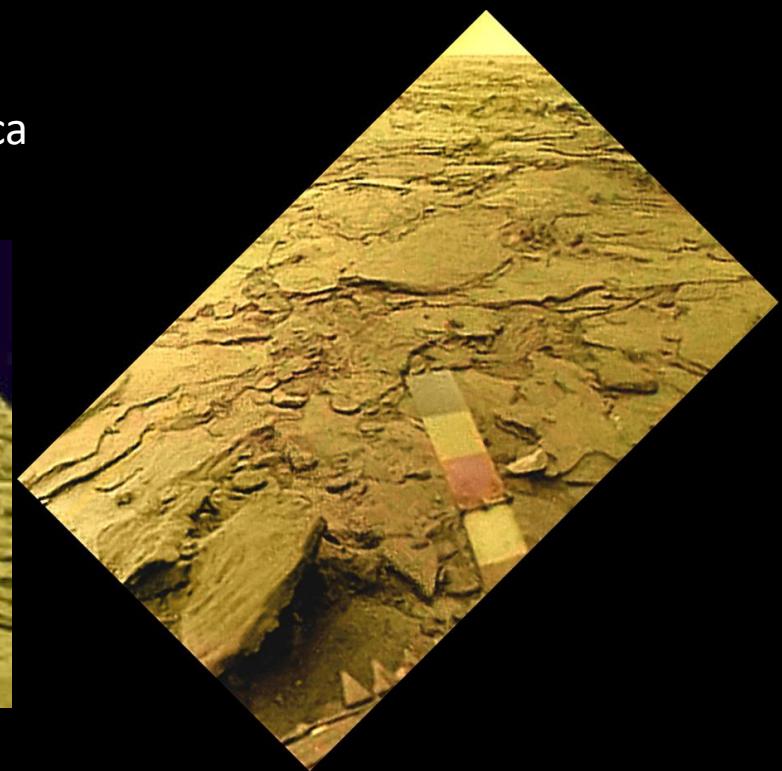


Phoebe Regio



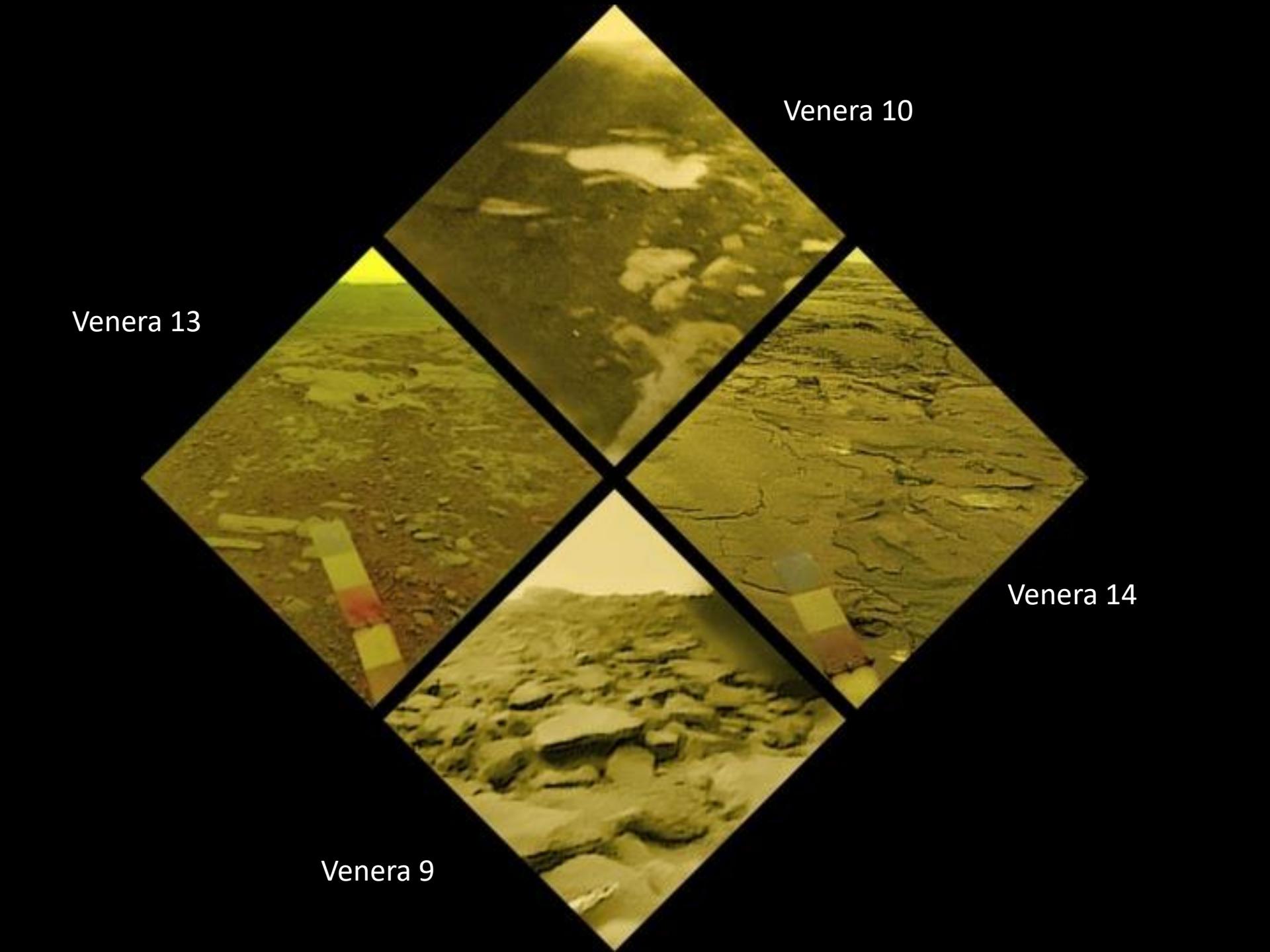
- Venera 14 (13.25°S 310°E, vita: 57 minuti)

Atterra a 950 km da Venera 13, su una pianura basaltica



Phoebe Regio





Venera 10

Venera 13

Venera 14

Venera 9

# IL PIANETA

## Parametri orbitali:

$e = 0.0067$

$a = 108\ 210\ 000 \text{ km (0.723 UA)}$

$P = 224.7 \text{ g}$

$p = 243.69 \text{ g}$

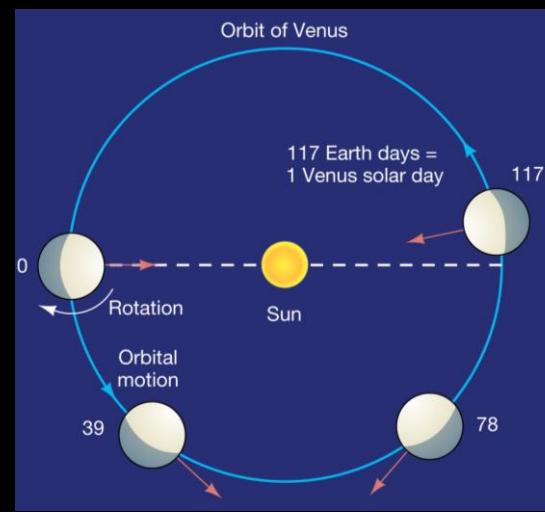
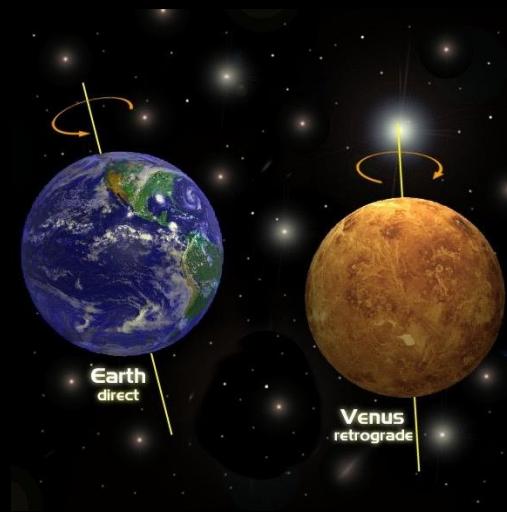
$i = 3^\circ$



Senso di rotazione retrogrado (orario): sole sorge ad ovest.

Venere sta rallentando il periodo di rotazione di 6.5 minuti ogni 16 anni.

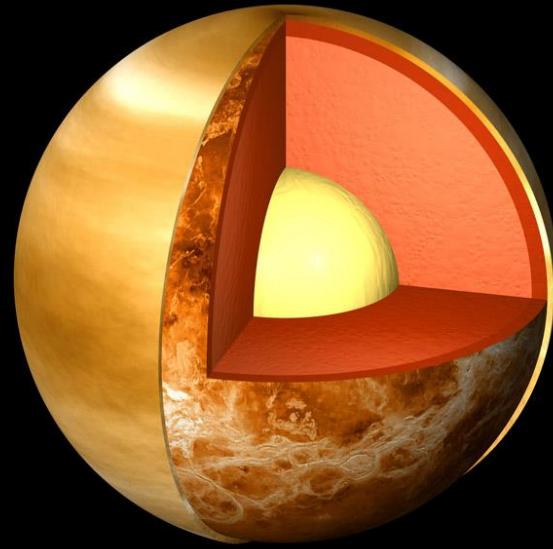
Tra un'alba e l'altra passano 117 giorni terrestri perché mentre Venere ruota in maniera retrograda sul proprio asse, la rivoluzione attorno al sole avviene in senso progrado (dunque opposto).



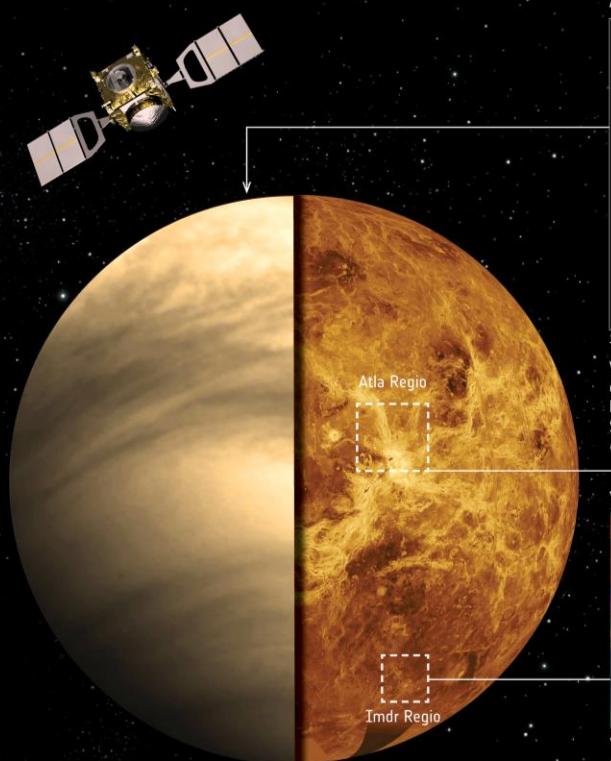
## INTERNO DEL PIANETA

L'assenza di dati sismici permette solo ipotesi.

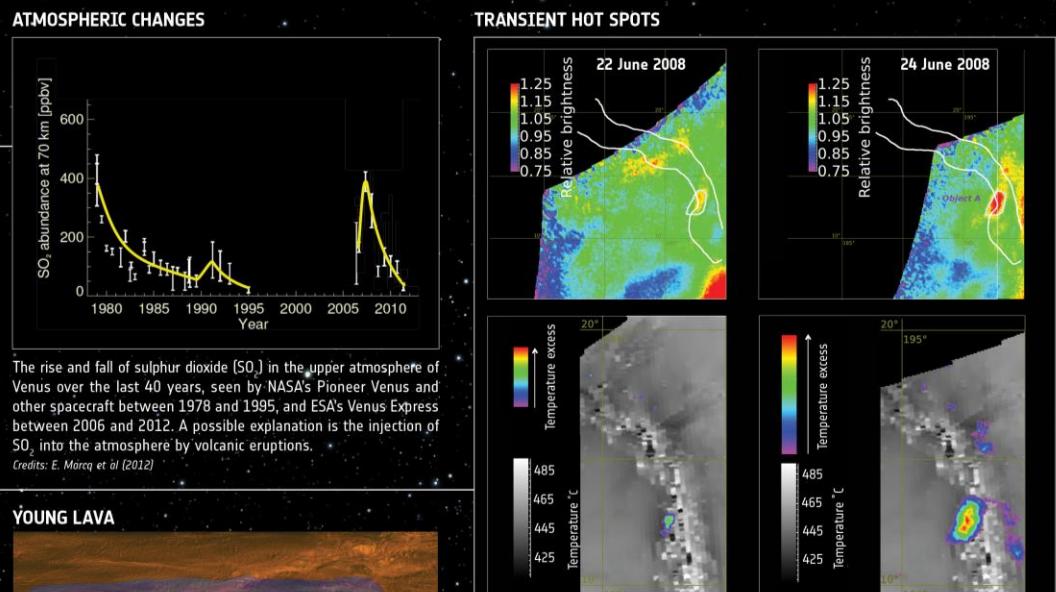
- massa e dimensioni terrestri indicano una densità ed una differenziazione interna analoga a quella terrestre;
- assenza di una tettonica delle placche dovuta forse ad una maggiore viscosità del mantello e della litosfera venusiana: assenza di un importante campo magnetico a seguito di una scarsa convezione.
- l'omogeneità della crosta di Venere determina una minore dispersione del calore (metà di quello terrestre). Secondo il tasso di craterizzazione osservato, l'età della crosta non supererebbe il mezzo miliardo di anni, perciò è possibile che vi siano fenomeni tettonici che la rinnovano in breve tempo intervallati da lunghi periodi di staticità.



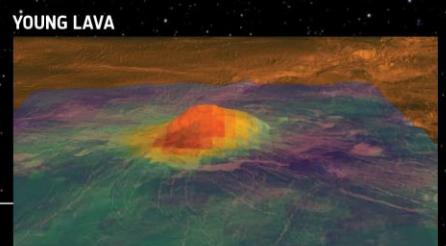
La superficie appare geologicamente giovane (300-500 Ma) e fenomeni vulcanici potrebbero essere ancora in corso (zolfo in atmosfera), anche se non se ne hanno evidenze certe.



Left: False-colour image of Venus cloud tops (credits: ESA/MPS/DLR/IDA);  
right: Magellan radar map of Venus (credits: NASA/JPL)  
The cloud tops image is a local view over high southern latitudes  
whereas the radar image is a global view centred on the equator.



The rise and fall of sulphur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) in the upper atmosphere of Venus over the last 40 years, seen by NASA's Pioneer Venus and other spacecraft between 1978 and 1995, and ESA's Venus Express between 2006 and 2012. A possible explanation is the injection of  $\text{SO}_2$  into the atmosphere by volcanic eruptions.  
Credits: E. Marcq et al (2012)



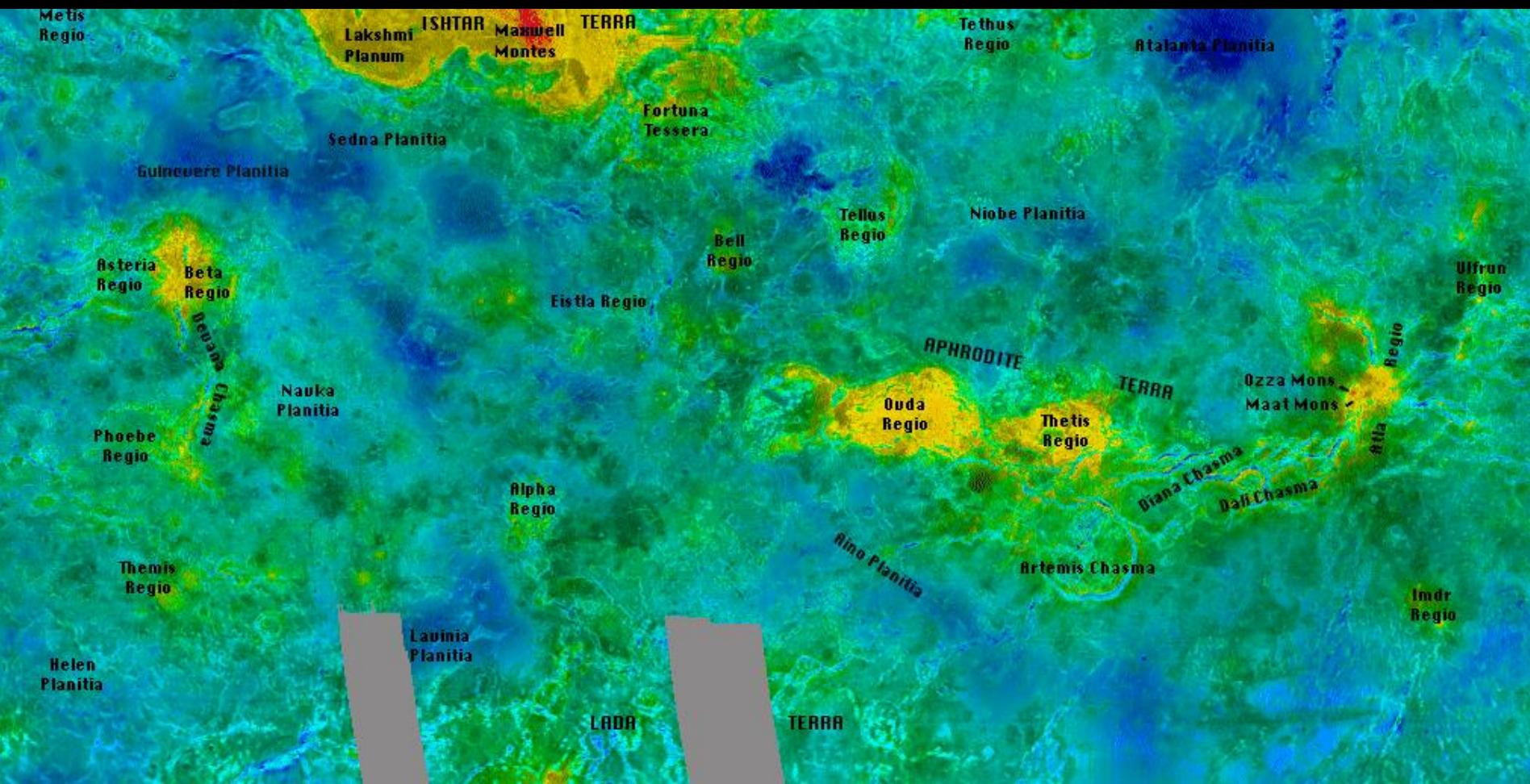
Venus Express found that the area around Idunn Mons in Imdr Regio was unusually dark compared with its surrounds, suggesting a different, younger, composition, pointing to lava flows within the last 2.5 million years. The map shows near-infrared emissivity; red-orange is high emissivity (darkest), purple is the lowest emissivity.  
Credits: ESA/NASA/JPL/S. Smrekar et al (2010)

Four transient hotspots were detected by Venus Express in the Ganiki Chasma rift zone in Atla Regio (labelled Objects A–D in the radar map, right). Changes in relative brightness (top row) and temperature (bottom row) are shown for Object A. Some changes due to clouds are also visible in the top row. The bottom row shows the temperature excess compared with the average surface background temperature. Taking into account atmospheric effects, hotspot A is likely only 1 square km with a temperature of 830°C.  
Credits: E. Shalygin et al (2015)



Sulla Terra la tettonica delle placche permette al calore interno di disperdersi e alla crosta di rinnovarsi grazie alla convezione nel mantello. Ma su Venere, a causa del riscaldamento generato dal decadimento degli elementi radioattivi e l'assenza della tettonica, l'interno raggiunge una temperatura critica fino ad un punto in cui la crosta si fonderebbe (in parte o totalmente) per poter liberare tutto il calore intrappolato. Così facendo il mantello si raffredderebbe ed il processo ricomincerebbe.

# SUPERFICIE



*Crateri* : > 1000 (3+ km), pochissimi con diametri <2 km a causa della densa atmosfera.

Dominano su tutto il pianeta le *pianure vulcaniche*, ma la superficie è suddivisa in *Highlands*, *Deposition Plans* e *Lowlands*.

Highlands: elevazione maggiore di 2 km (10% della superficie). Aphrodite Terra, Ishtar Terra, Lada Terra, Beta Regio, Phoebe Regio, Themis Regio, Alpha Regio, Bell Regio, Eistla Regio, Tholus Regio.

Alcuni terreni appartenenti alle Highlands riflettono più efficientemente le scansioni radar e ciò può essere il segno di una “linea della neve”: temperatura e pressione minore permettono una mineralizzazione differente.

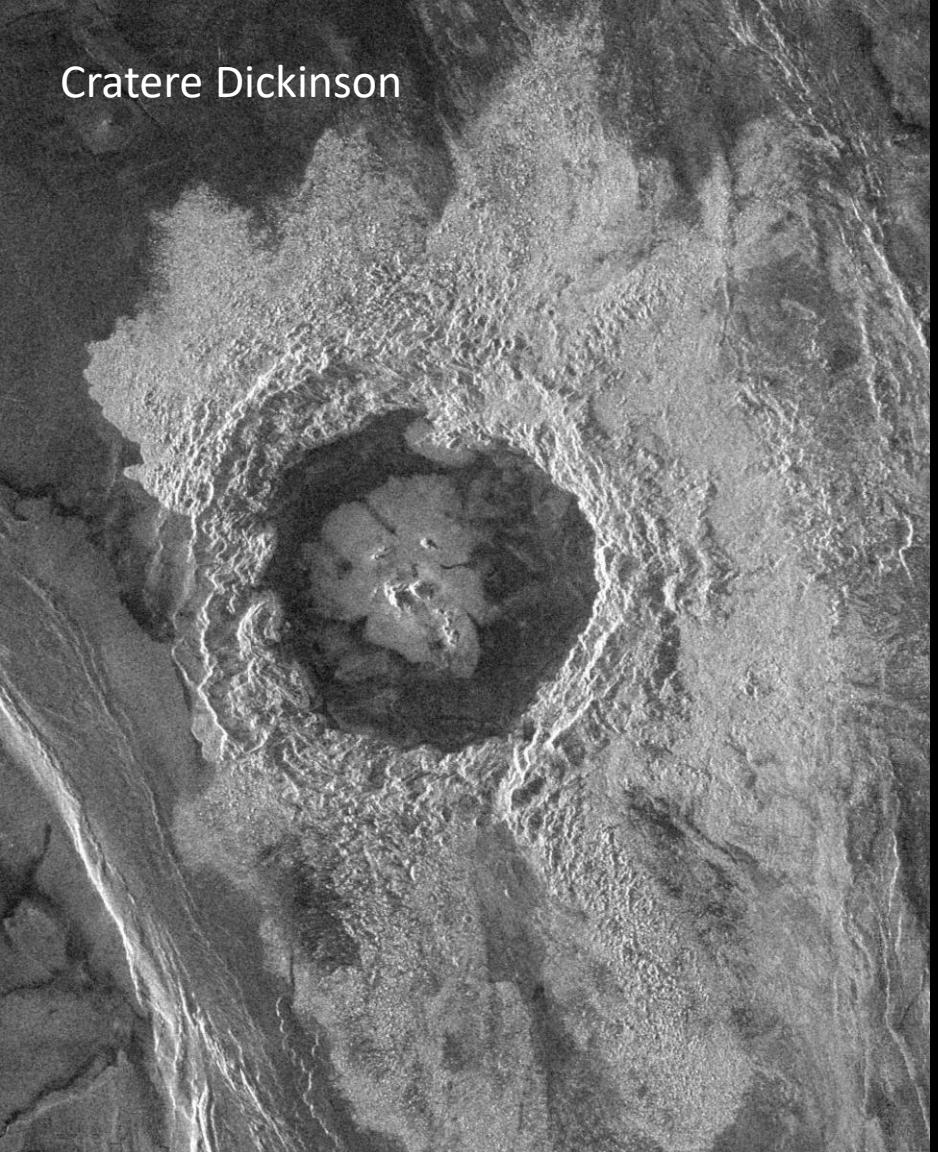
- Pirite: prodotta dall'alterazione chimica dei depositi vulcanici da parte dell'atmosfera venusiana ricca di zolfo (Maxwell Montes).
- Clorapatite: (Ovda Regio).



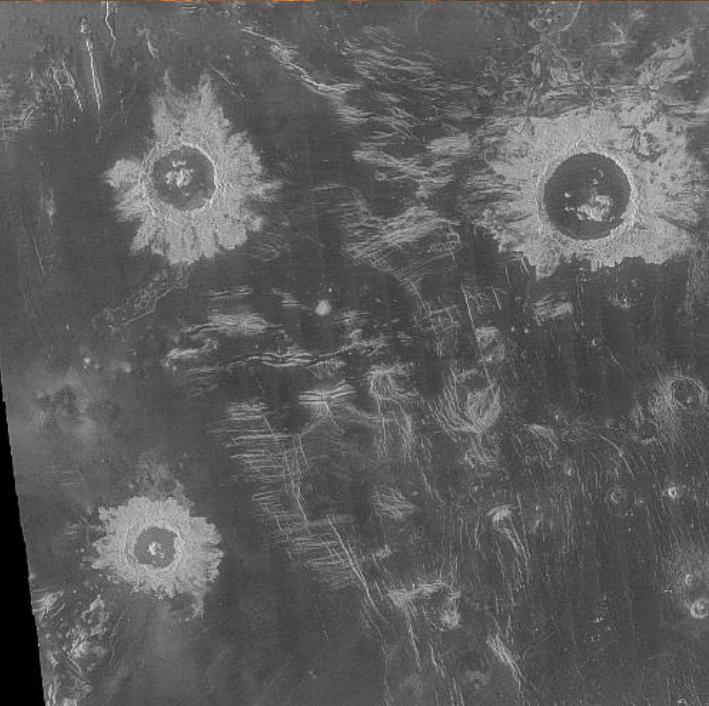
Deposition Plans: elevazione tra 0 e 2 km, coprono oltre la metà della superficie planetaria.

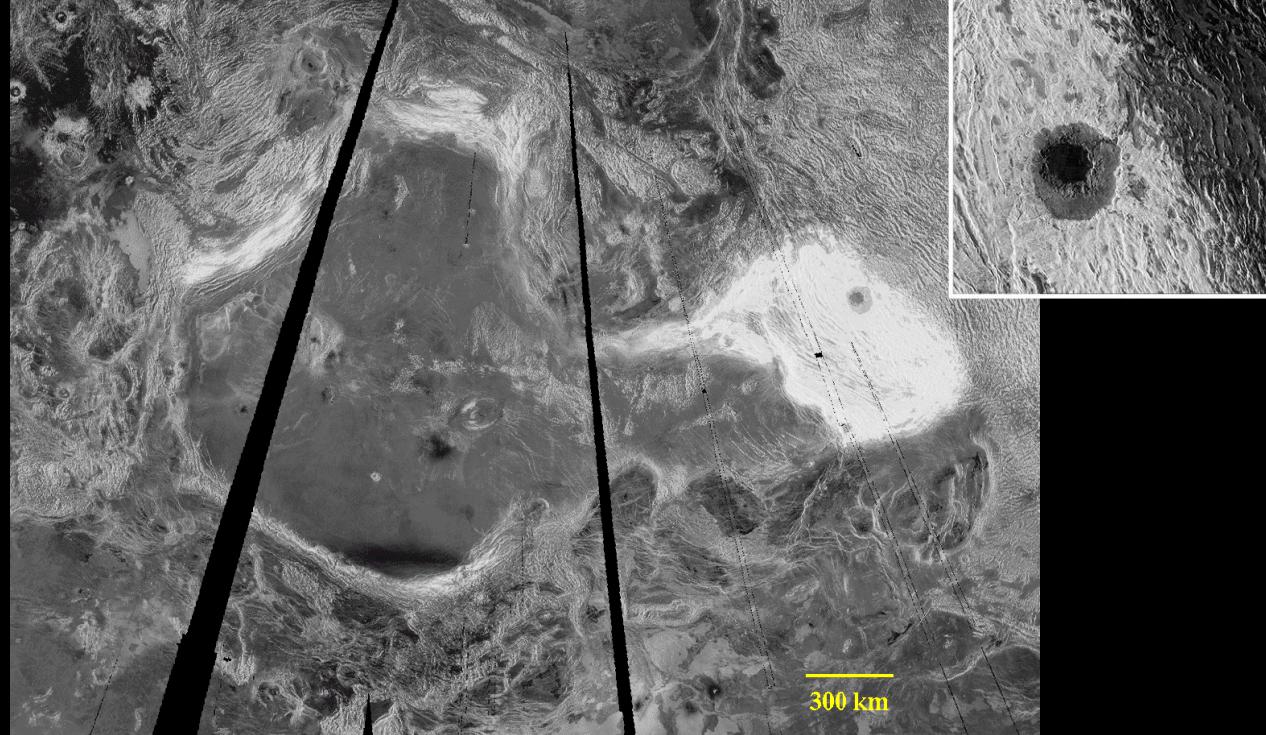
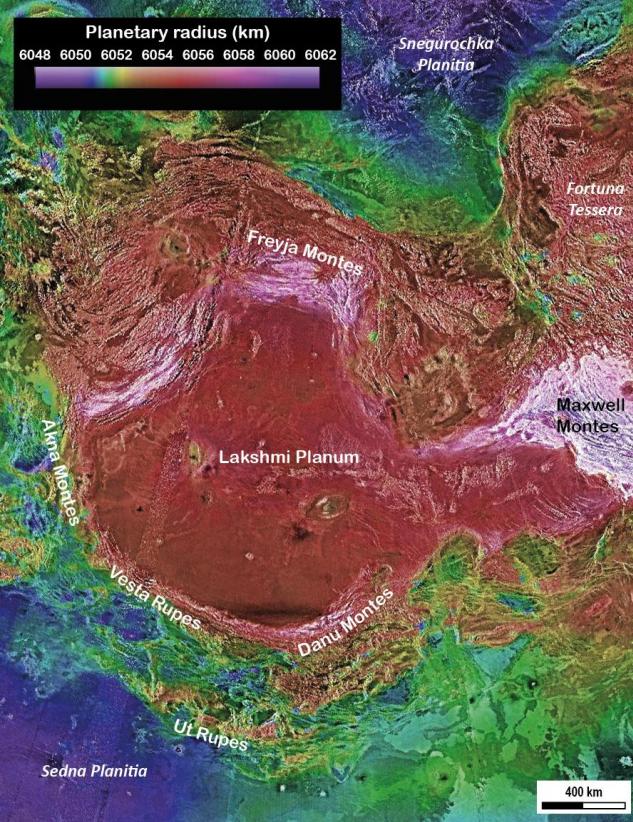
Lowlands: elevazione al di sotto dello 0. Zone liscie prodotte dall'accumulo di materiale fine eroso dalle highlands.

Cratere Dickinson



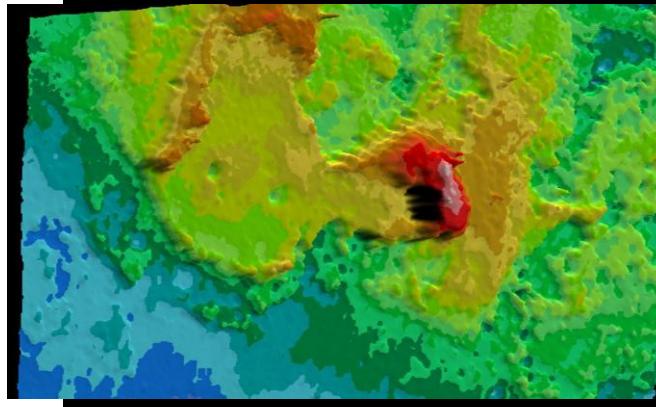
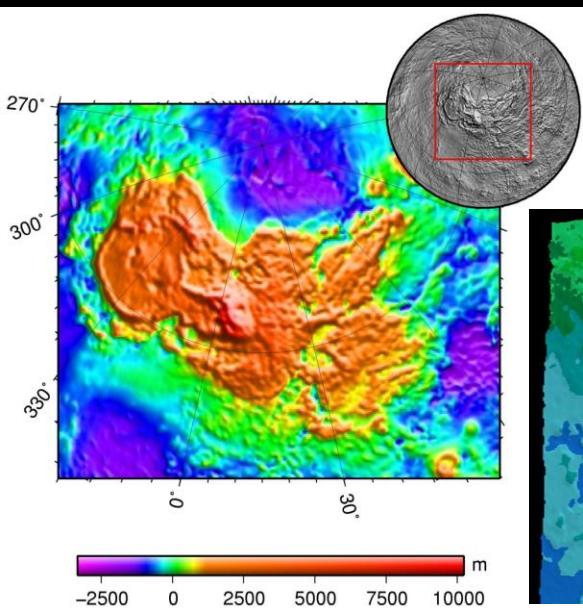
Crateri Danilova, Aglaonice e Saskja





## ISHTAR TERRA

Altopiano basaltico;  
Maxwell Montes (11 km), Freyja Montes, Akna Montes, Danus Montes, circondano la pianura centrale Lakshmi Planum.

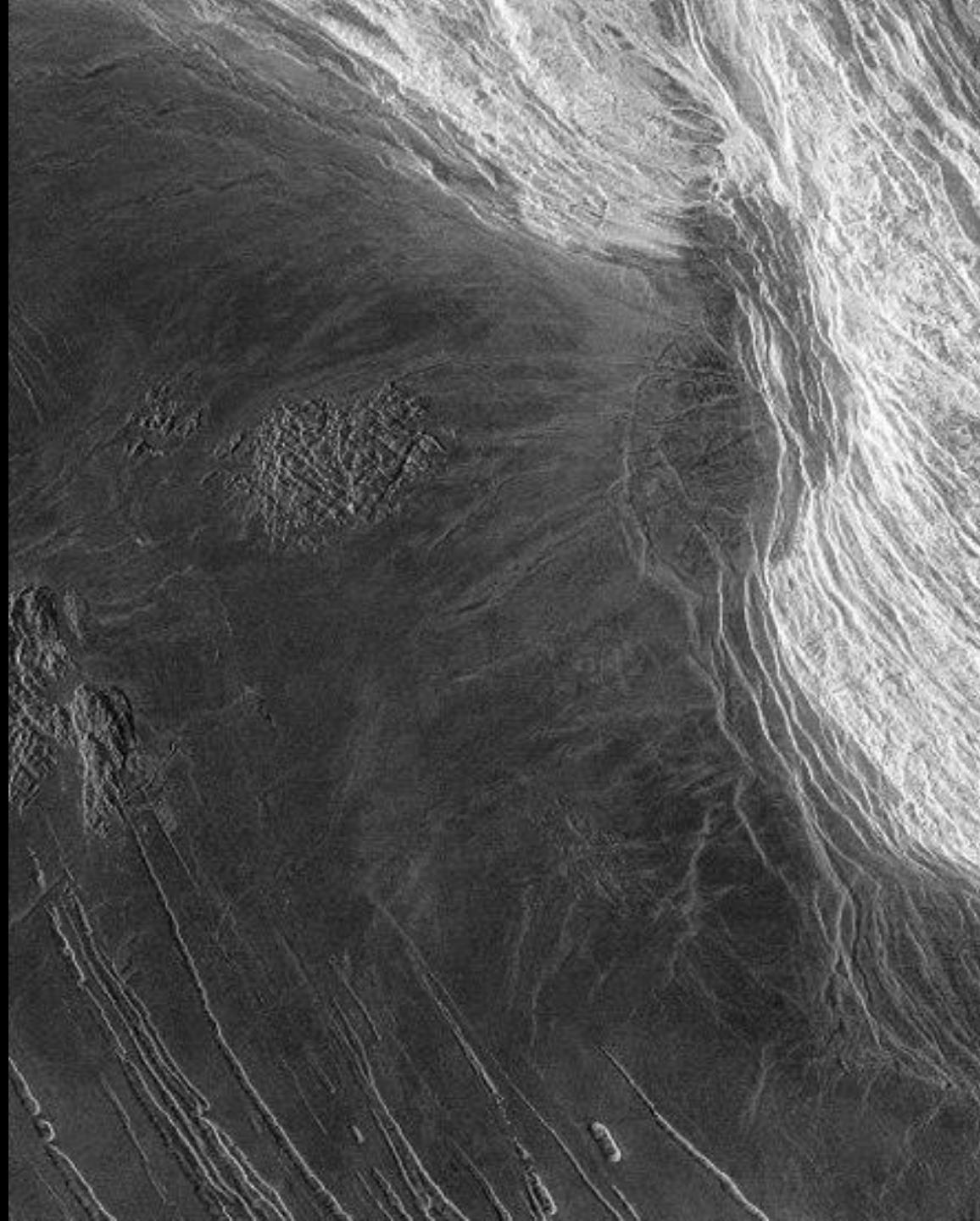


- poggia su magma in risalita?  
(isostasia o crosta più spessa)
- Tesserae, indicano continuo movimento?

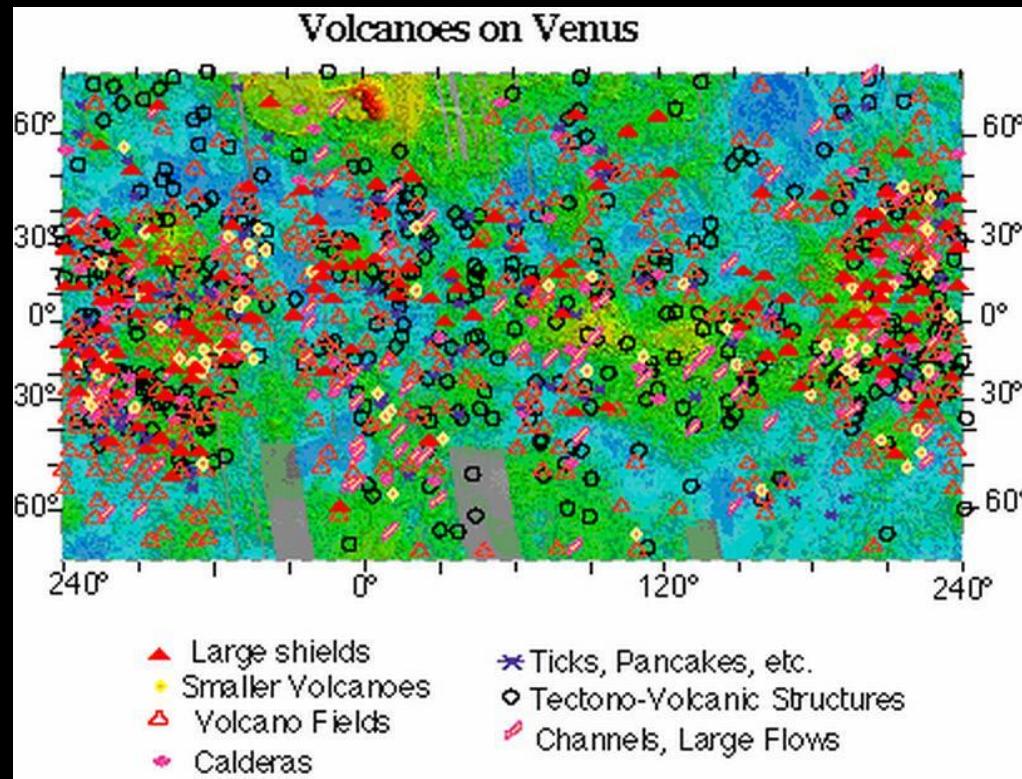
## "Neve di Venere"

Sopra i 2600 m di quota sembrano depositarsi, per condensazione nell'atmosfera e successiva precipitazione, solfuri di piombo e bismuto; ma sembra anche che alcuni composti metallici sublimino nelle pianure basse e roventi per poi depositarsi sulle alteure più fredde.

Lakshmi Planum e Maxwell Montes: questi ultimi, 5 km sopra la pianura, sono coperti da "neve"



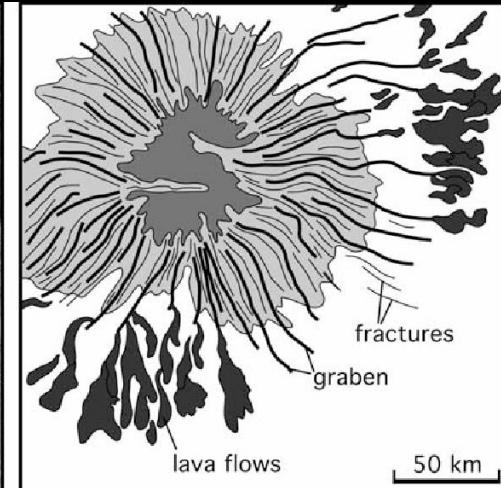
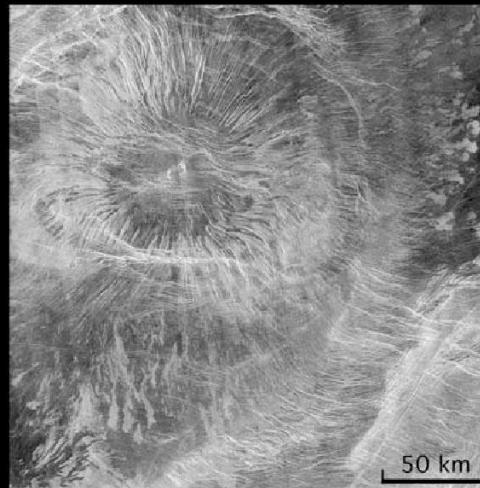
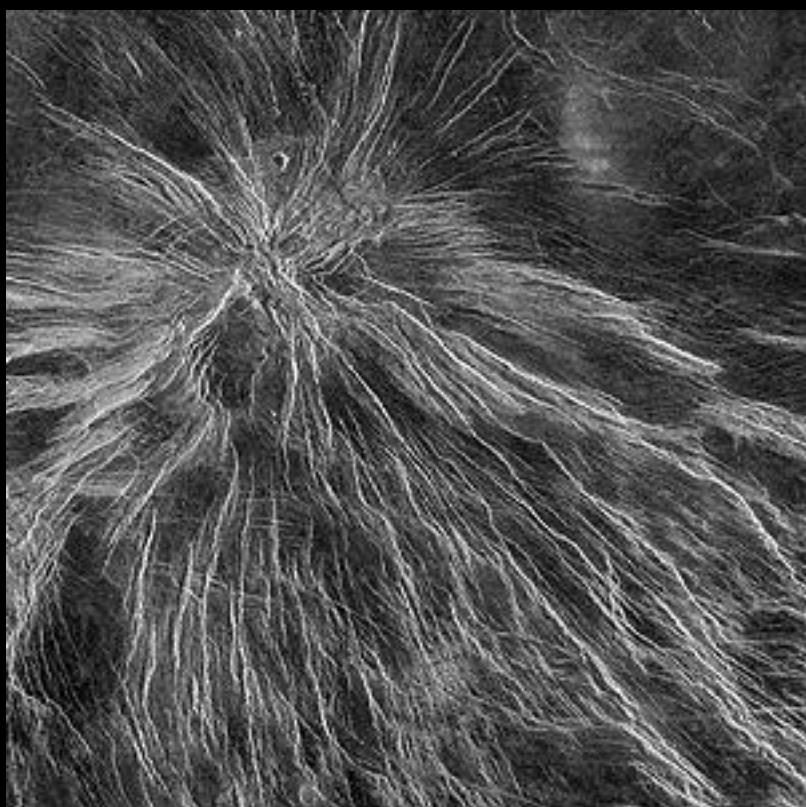
E' il pianeta con più **vulcani** in assoluto (circa 1500 di dimensioni medio-grandi e forse fino a 1 milione considerandoli tutti).



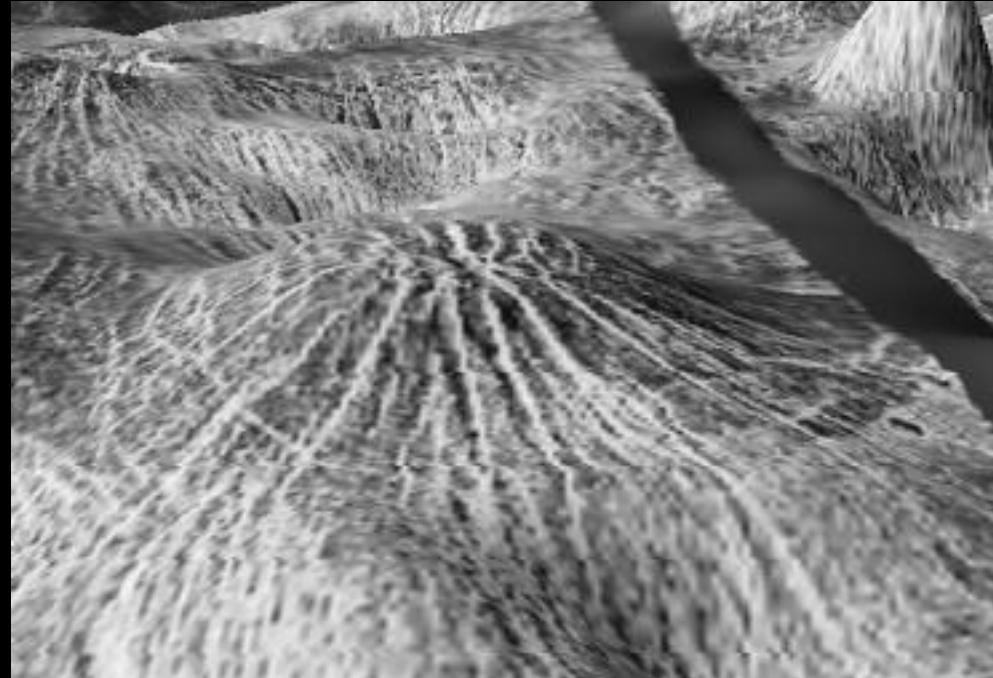
Strutture peculiari di Venere, tutte di origine vulcanica:

- **Nova**: struttura radiale altamente riflettente al radar prodotta dall'eruzione di lava da un punto centrale.
- **Aracnoide**: struttura composta da vari cerchi concentrici circondati da strutture radiali simili a novae.
- **Corona**: struttura ad anello (100-300 km, alte centinaia di metri) che si formerebbero a seguito del sollevamento della crosta generato da un punto caldo che poi collasserebbe nel centro lasciando in rilievo i bordi (anche su Miranda).

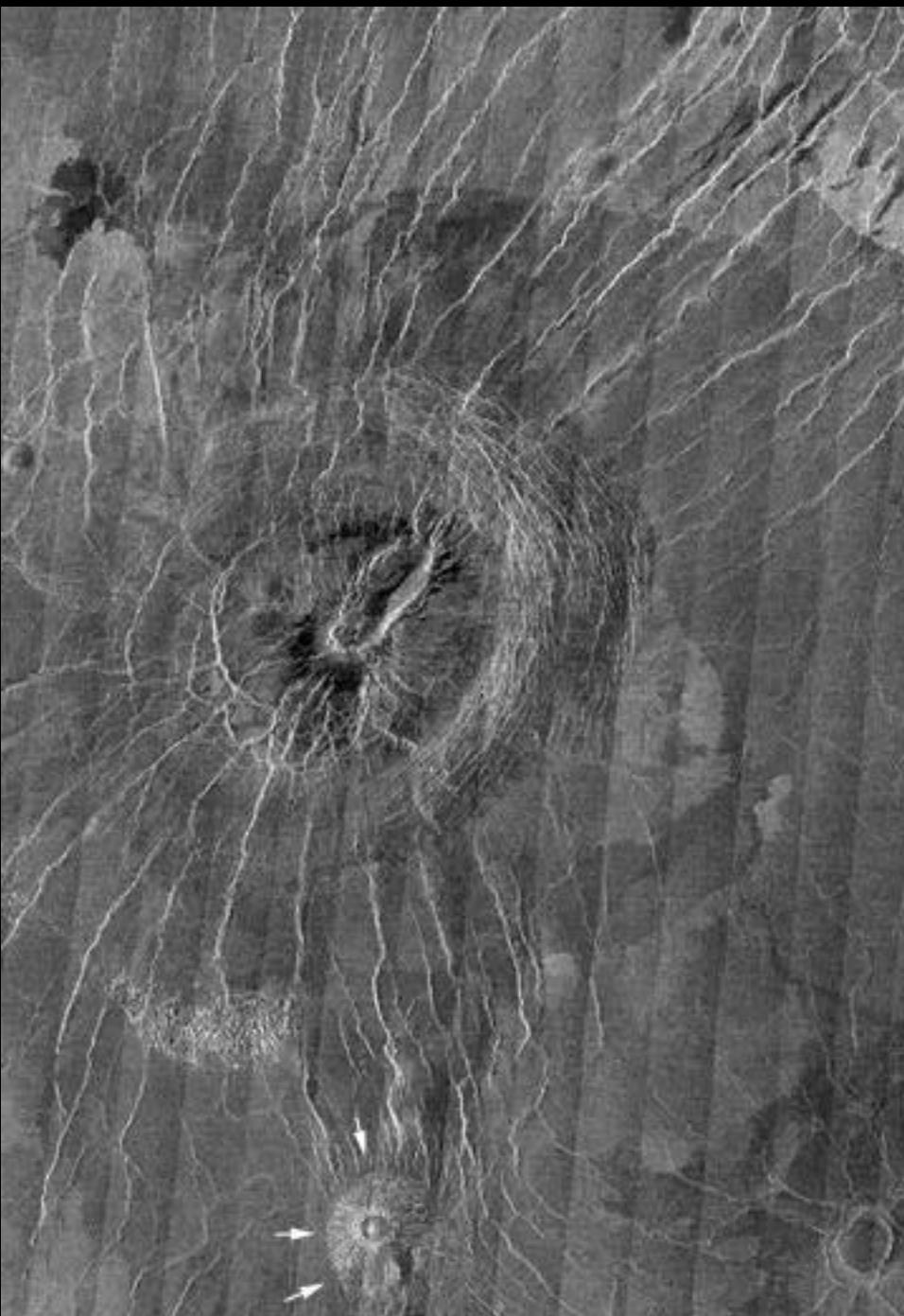
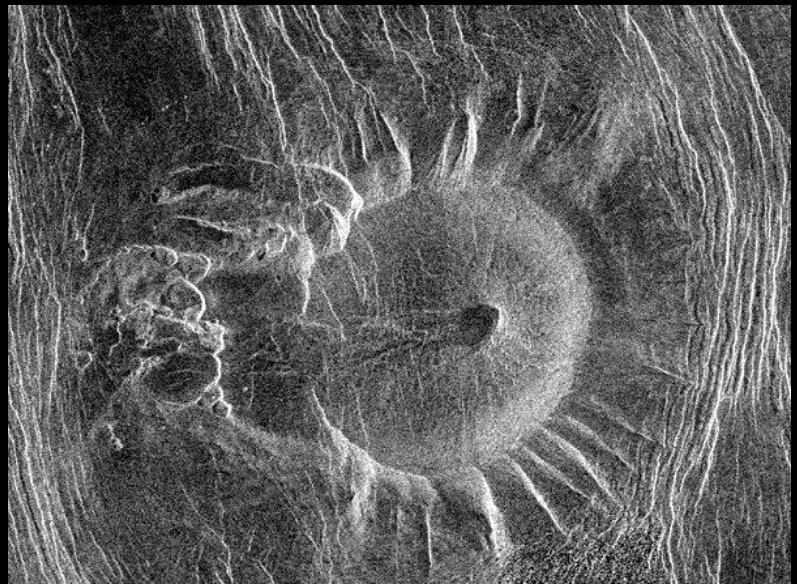
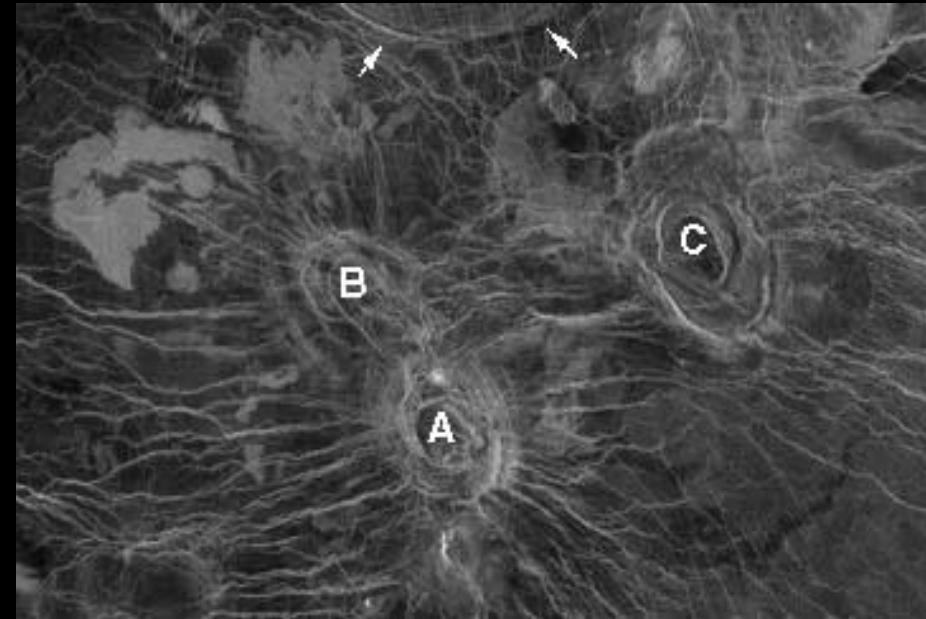
Nova in Themis Regio



Nova sovrapposta alla Yavine Corona

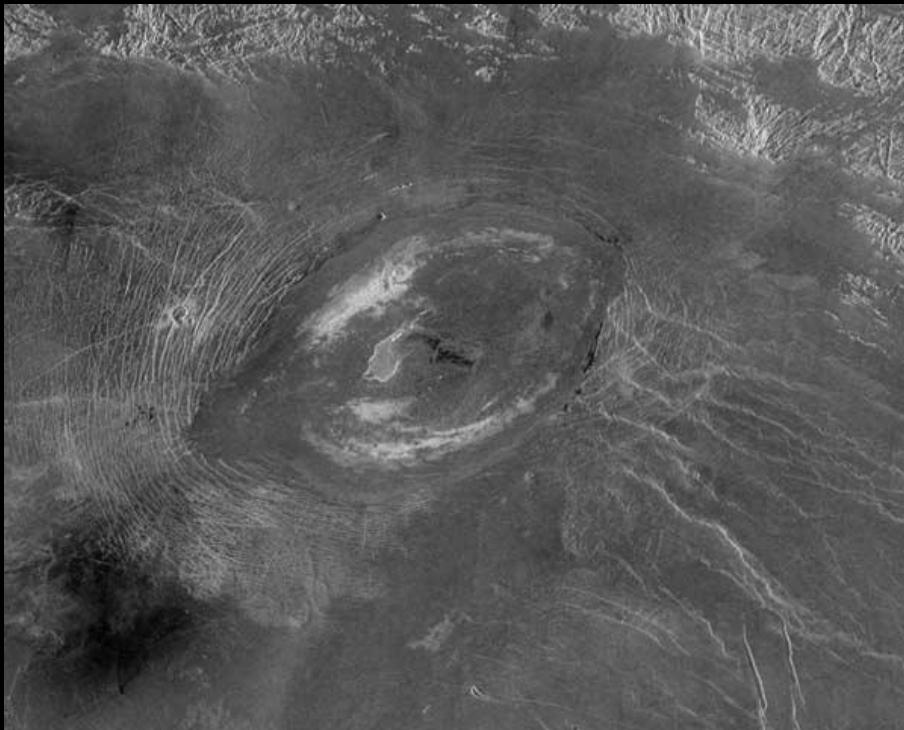


Aracnoide nell'Atla Regio

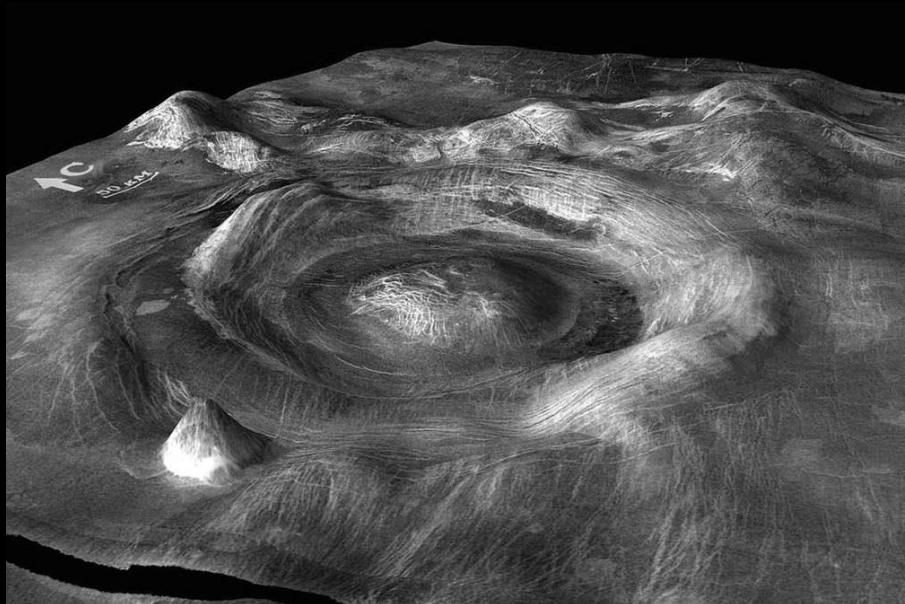




Aine Corona



Sacajawea Corona

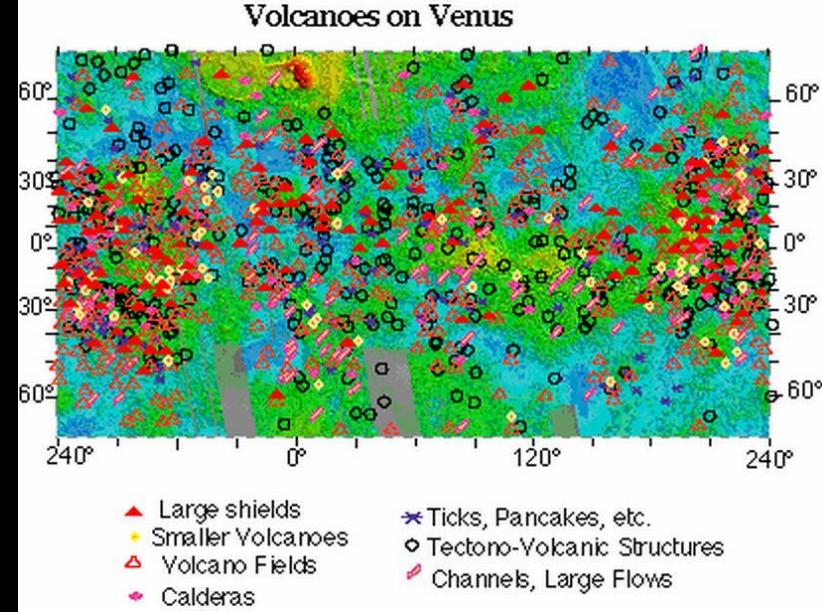


Aramaiti Corona

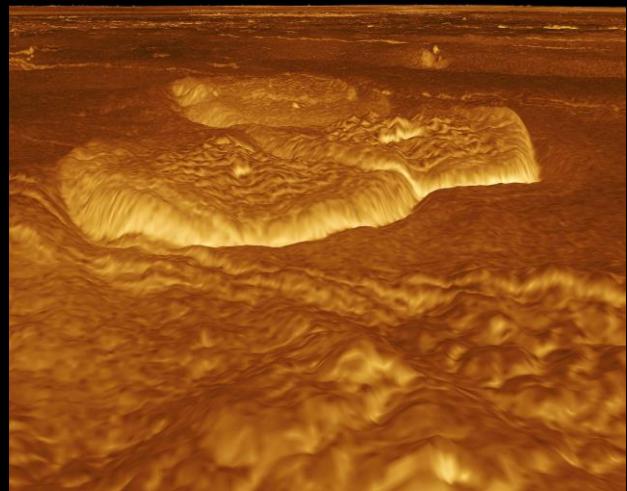
E' il pianeta con più **vulcani** in assoluto  
(1500 medio-grandi, forse 1 milione in totale).

Su Venere i vulcani sono prevalentemente a scudo,  
estesi per centinaia di km ed alti non più di 1.5 km.

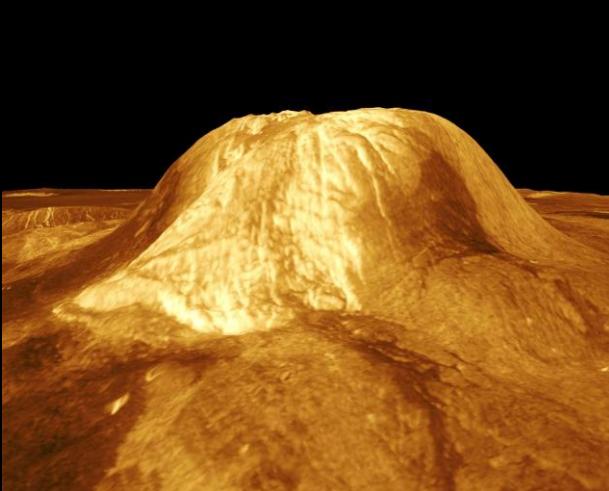
Crosta: le analisi spettroscopiche ed i dati prodotti dai lander suggeriscono una composizione basaltica tholeiitica (Venera 9-10-14, Vega 1-2) ed alcalina (Venera 8-13).



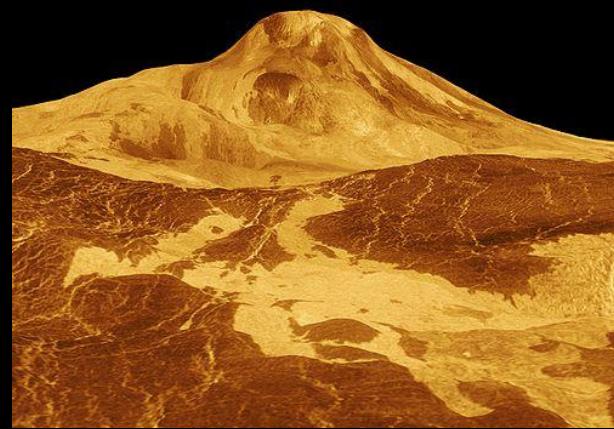
Il pianeta risulta anche particolarmente secco (20 ppm di acqua in atmosfera).



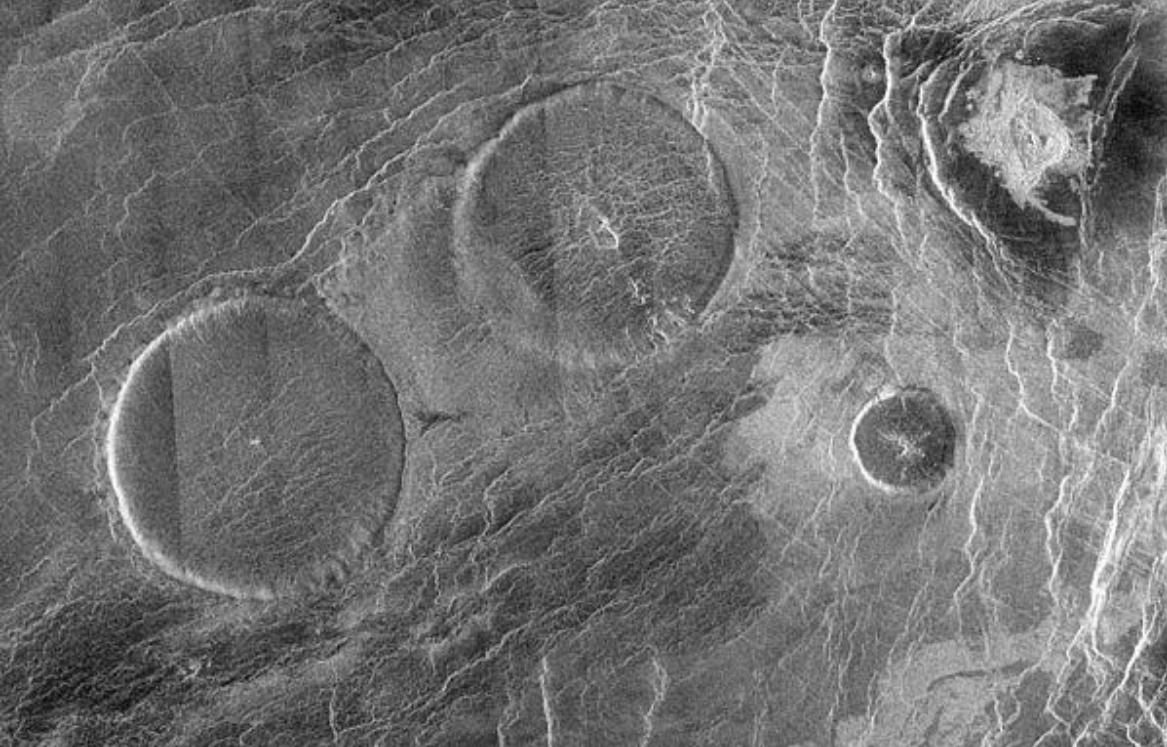
Vulcani a pancake (Alpha Regio)



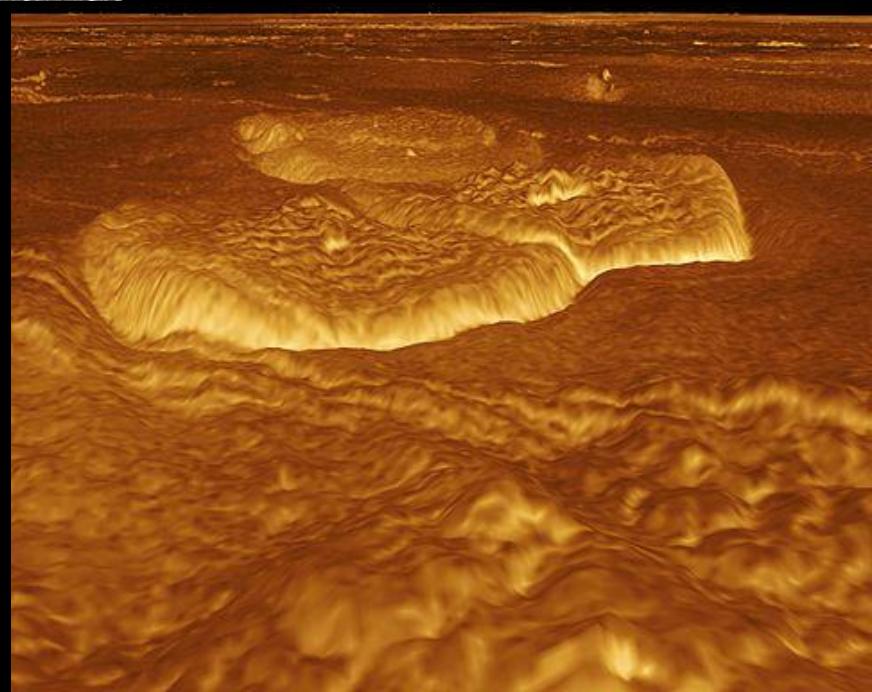
Gula Mons (3 km)



Maat Mons (8 km)

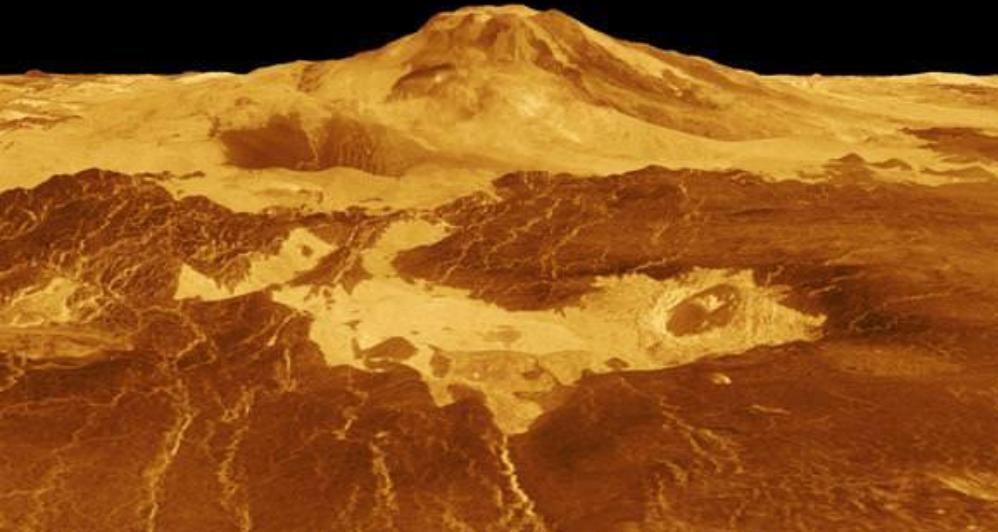


Eistla Regio, vulcani a pancake

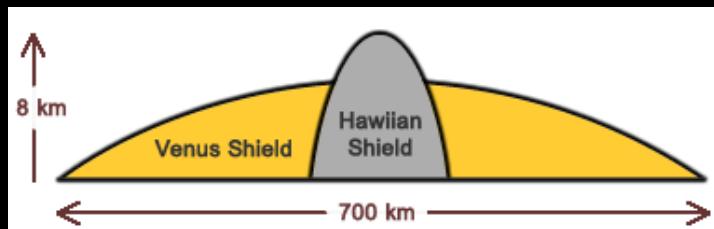


Alpha Regio, vulcani a pancake

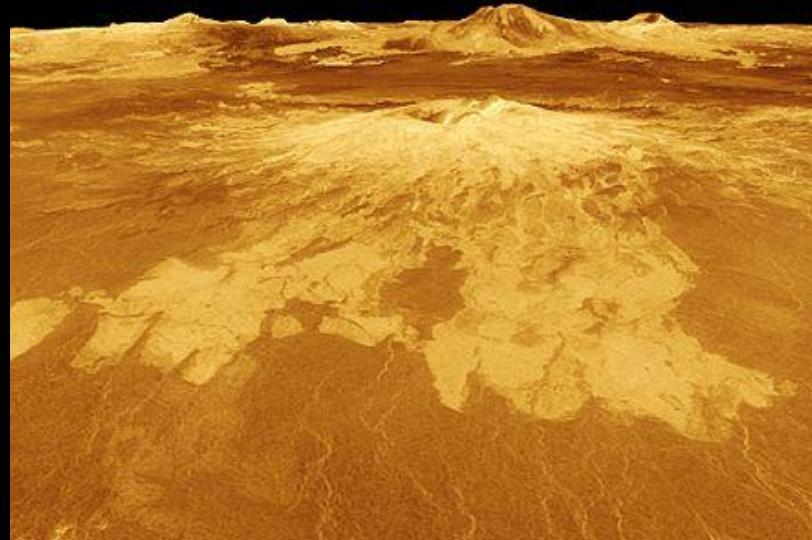
Alti meno di 1 km ed estesi anche decine di km;  
spesso raggruppati nelle Lowlands, nei pressi di  
coronae e tesserae.



Maat Mons, vulcano a scudo  
(8x395 km, è il vulcano più alto di Venere)



Sif Mons, vulcano a scudo  
(2x300 km)

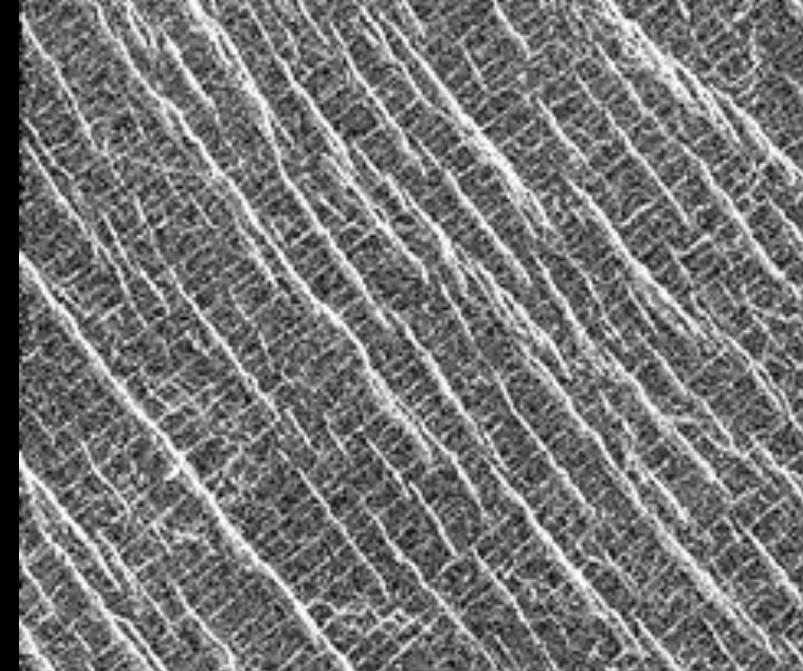


Sapas Mons, vulcano a scudo  
(1.5x400 km)



Sebbene non ci sia attività tettonica globale, Venere presenta molte strutture associabili ad un'attività tettonica locale: faglie, pieghe, vulcani, catene montuose, rift valley, tesserae.

Una **tessera** è un terreno che mostra gli effetti di compressioni ed estensioni avvenute per tempi lunghissimi, si tratta dei più antichi terreni venusiani. Ovvero superimposizione ed intersezione di graben di unità geologiche differenti, prodotte da colate di lava basaltica che generano pianure sottoposte poi ad un'intensa fratturazione tettonica.



Studi sul campo gravitazionale di Venere hanno ipotizzato l'assenza di un'astenosfera, uno strato di minor viscosità che permette alle placche terrestri di muoversi. Quindi le deformazioni crostali del pianeta sarebbero imputabili a movimenti convettivi nel mantello. I Maxwell Montes si sono formati con il concorso di processi di compressione, estensione e scorrimento laterale.

Sono stati osservati oltre 200 tra **fiumi di lava** e **canali** lunghi centinaia di km e larghi decine, di varia complessità e conformazione. Sono il risultato di importanti eruzioni di lava basaltica a bassa viscosità, che nelle condizioni di Venere impiega molto più tempo a solidificare ed arrestarsi. Il più lungo (Baltis Vallis) procede per 6800 km, ovvero 1/6 della circonferenza del pianeta!



Canale di lava nella Sedna Planitia



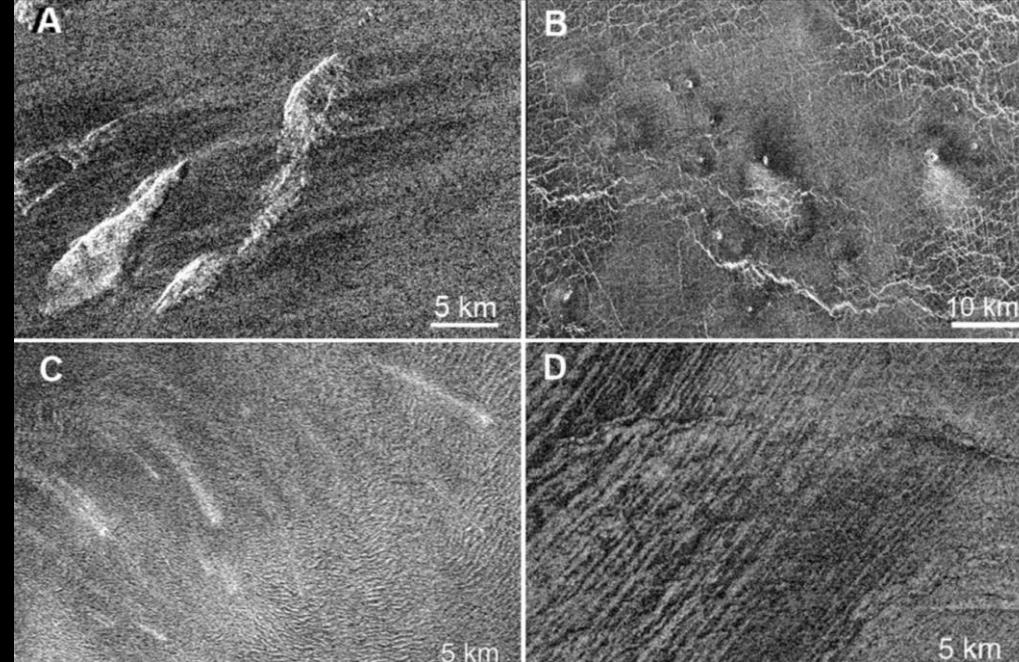
Colate di lava provenienti  
dall'Ammavaru Caldera

Processi superficiali: non esiste acqua liquida o ghiaccio in superficie.

- **vento**: assieme agli stress termici è l'unico agente fisico che nonostante la densità atmosferica è in grado di trasportare sedimenti. Spiega la connessione tra le terre eoliche (una sessantina quelle note) ed i bacini da impatto. Queste terre sono le più giovani sul pianeta e si estendono a parabola.

Studiando altri depositi si è notata la presenza di celle di Hadley tra le medie latitudini e l'equatore.

- **erosione chimica**: reazioni tra i minerali della crosta ed i componenti dell'atmosfera venusiana ( $\text{CO}_2$  e  $\text{SO}_2$ ). Le reazioni in corso potrebbero deteriorare i silicati della crosta ad opera della  $\text{CO}_2$  atmosferica, producendo carbonati e quarzo, ma anche l'alterazione attuata dalla  $\text{SO}_2$  produrrebbe solfati di calcio e  $\text{CO}_2$ .
- **Antica acqua liquida**: Oceano di tipo terrestre fino a 2.4 Ga ? L'ultima acqua liquida potrebbe essere evaporata attorno a 715 milioni di anni fa. Oggi l'acqua presente in atmosfera si aggira attorno alle 20 ppm e l'idrogeno è ancora in corso di dispersione nello spazio.



## ATMOSFERA

CO<sub>2</sub> 96.4%, N<sub>2</sub> 3.5%, SO<sub>2</sub>

150 ppm, Ar 70 ppm, H<sub>2</sub>O 20ppm, CO 17 ppm, He 12 ppm, Ne 7 ppm,...

L'osservazione ottica di dettagli atmosferici è impossibile a causa della densità e dell'opacità in banda ottica. Quindi è altrettanto impossibile scorgere qualunque dettaglio della superficie.

Per osservare i sistemi nuvolosi si ricorre all'UV e per rendere del tutto trasparente l'atmosfera ed osservare la superficie si usa il radar.

La temperatura atmosferica alla superficie oscilla tra i 437 ed i 467°C in ogni punto del pianeta, di giorno o di notte.

La pressione al suolo è di circa 93 atmosfere, la stessa che si avrebbe a 900 metri di profondità nell'oceano terrestre.



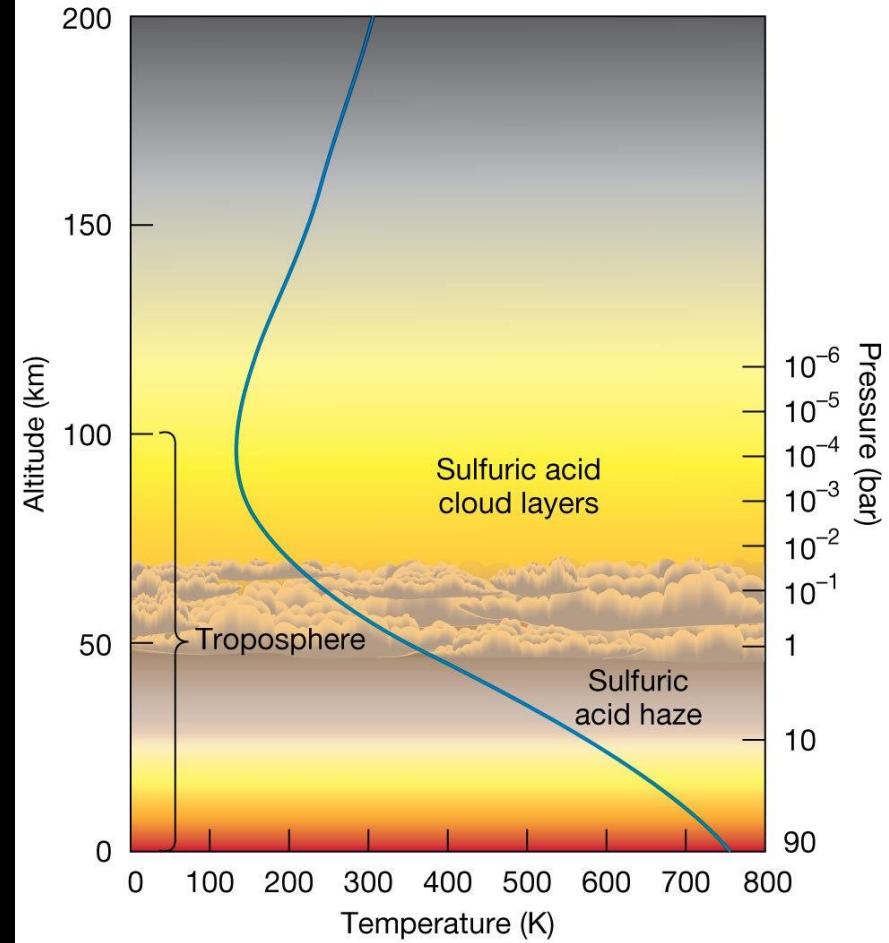
## Troposfera (0-65 km)

E' la parte più densa dell'atmosfera.

I venti al suolo sono debolissimi a causa della temperatura e della pressione estrema.

La densità dell'aria al suolo è il 6.5% di quella dell'acqua liquida sulla Terra.

La massiccia presenza di  $\text{CO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  -  $\text{SO}_2$  genera un notevole effetto serra globale, tanto efficiente da mantenere costante la temperatura sia durante il dì che la notte su tutto il globo.



La quota tra 52.5 e 54 km ha una temperatura che oscilla tra 20 e 37°C e a 49.5 km la pressione equivale a quella del livello del mare sulla Terra: questa fascia è il luogo più simile all'ambiente terrestre di tutto il sistema solare!

Le nubi di Venere sono spesse e composte da gocce di acido solforico (75-96%).

Riflettono il 75% della luce solare incidente e sono otticamente opache.

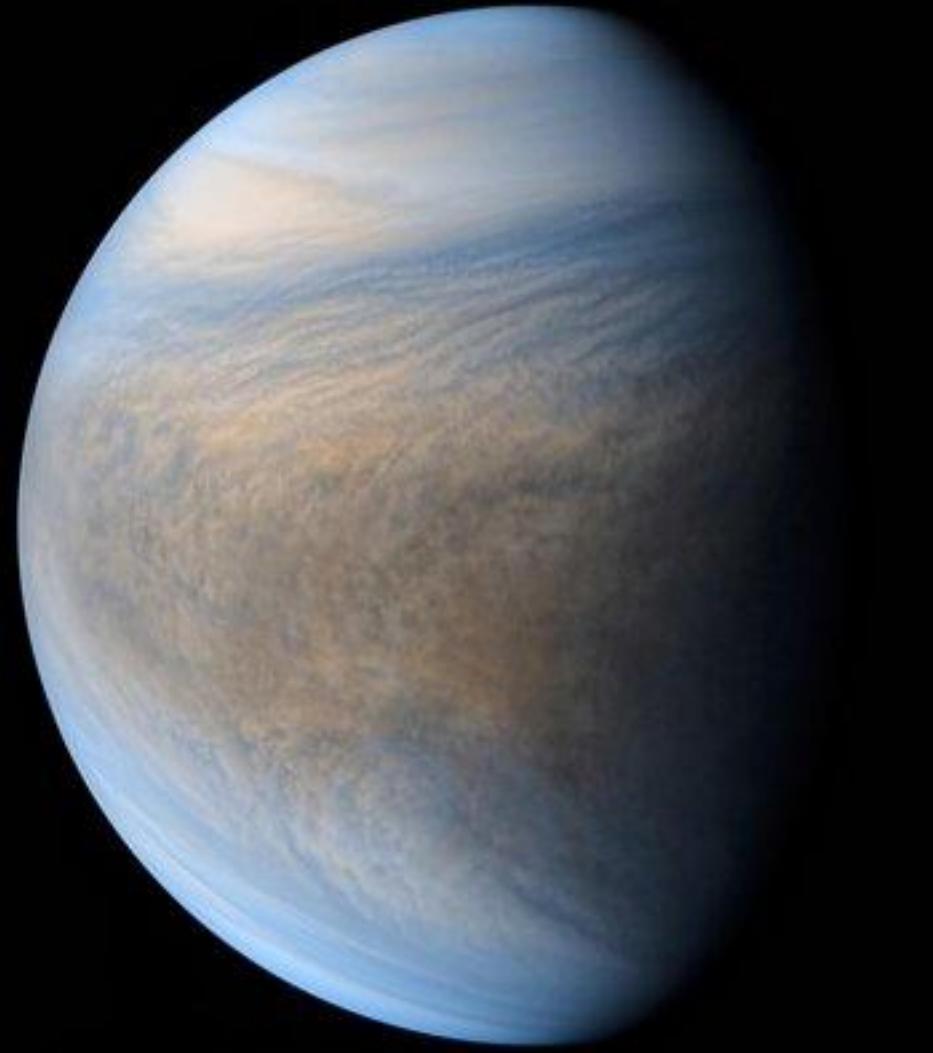
La densità varia ed è massima a 48.5 km di quota (0.1 g/cm<sup>3</sup>, simile ai cumulonembi carichi sulla Terra).

Si formano per reazione tra SO<sub>2</sub> ed il vapore acqueo, innescate dalla luce solare negli strati alti dell'atmosfera e dal calore in quelli bassi.

Si conoscono tre strati di nubi:

- superiore (60-70 km) composto da piccole gocce di acido solforico;
- intermedio (52-59 km) con gocce di medie dimensioni e in minor numero;
- inferiore (51-48 km) composto da poche e grandi gocce.

Al di sotto la temperatura vaporizza le gocce generando una foschia fino a 31 km di quota, al di sotto l'atmosfera è limpida.



Tra le nubi di venere si scatenano fulmini: anche se la loro frequenza è circa la metà di quella terrestre. Le gocce di acido solforico possono caricarsi elettricamente e generare scariche tra le nubi, catalizzate anche dalla radiazione cosmica (non bloccata dall'inesistente campo magnetico).



Sono possibili anche piogge, sempre di acido solforico condensato, che però rimangono a mezz'aria: può piovere tra uno strato e l'altro di nubi ma queste gocce non raggiungeranno mai il suolo poiché vengono vaporizzate prima da caldo intenso.

Osservando i sistemi nuvolosi in UV è stata misurata la velocità e la direzione dei venti nell'alta atmosfera: 360 km/h a 50° e 0 km/h ai poli.

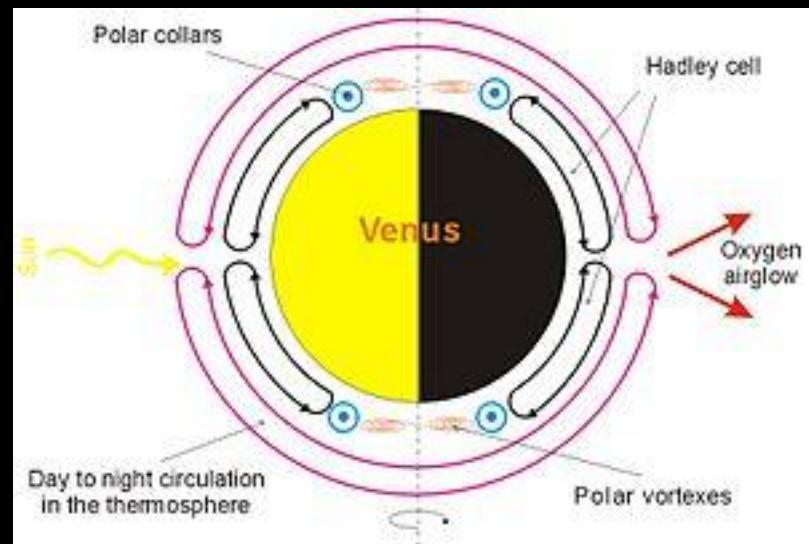
I fortissimi venti che soffiano sulla cima delle nubi generano il fenomeno della super-rotazione dell'atmosfera, completando il giro del pianeta da Est ad Ovest più velocemente del periodo di rotazione del pianeta stesso.

Su Venere tale rotazione è differenziale: la troposfera equatoriale ruota più lentamente rispetto a quella delle medie latitudini.

Inoltre i venti hanno anche un notevole gradiente verticale .

Tali venti sono generati dal moto convettivo: l'aria calda equatoriale sale e muove verso i poli creando una circolazione di Hadley. Il limite di queste celle è a 60° di latitudine.

Inoltre Venus Express, sfruttando le occultazioni stellari, ha visto che l'estensione in quota dei sistemi nuvolosi è maggiore di notte (da 20 a 65 km contro i 90 km osservati).



Vulcano nella Parga Chasma  
(tra Atla Regio e Themis Regio)



Una coppia di cicloni è presente in prossimità dei poli.

Si tratta di enormi uragani (4 volte quelli terrestri).

Su ogni polo staziona un doppio vortice, connesso da formazioni nuvolose ad S.

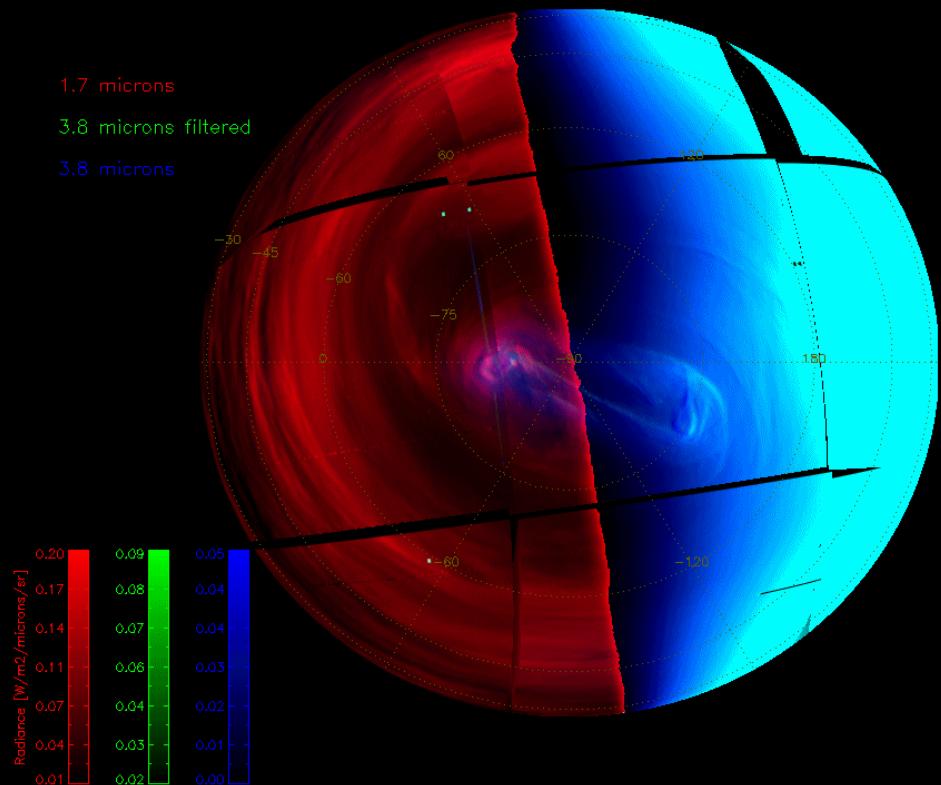
I vortici ruotano in 3 giorni nella direzione della super-rotazione atmosferica.

La temperatura sopra le nubi nei pressi dei vortici polari è più elevata di quella circostante (-23°C).

Si tratterebbe di anticlioni con downwelling al centro e upwelling nei freddi collari polari.

La presenza di due vortici e la loro persistenza è ancora da spiegare.

Di recente è stata scoperta una corrente a getto equatoriale che viaggia a 300 km/h, al di sotto dei 57 km di quota.

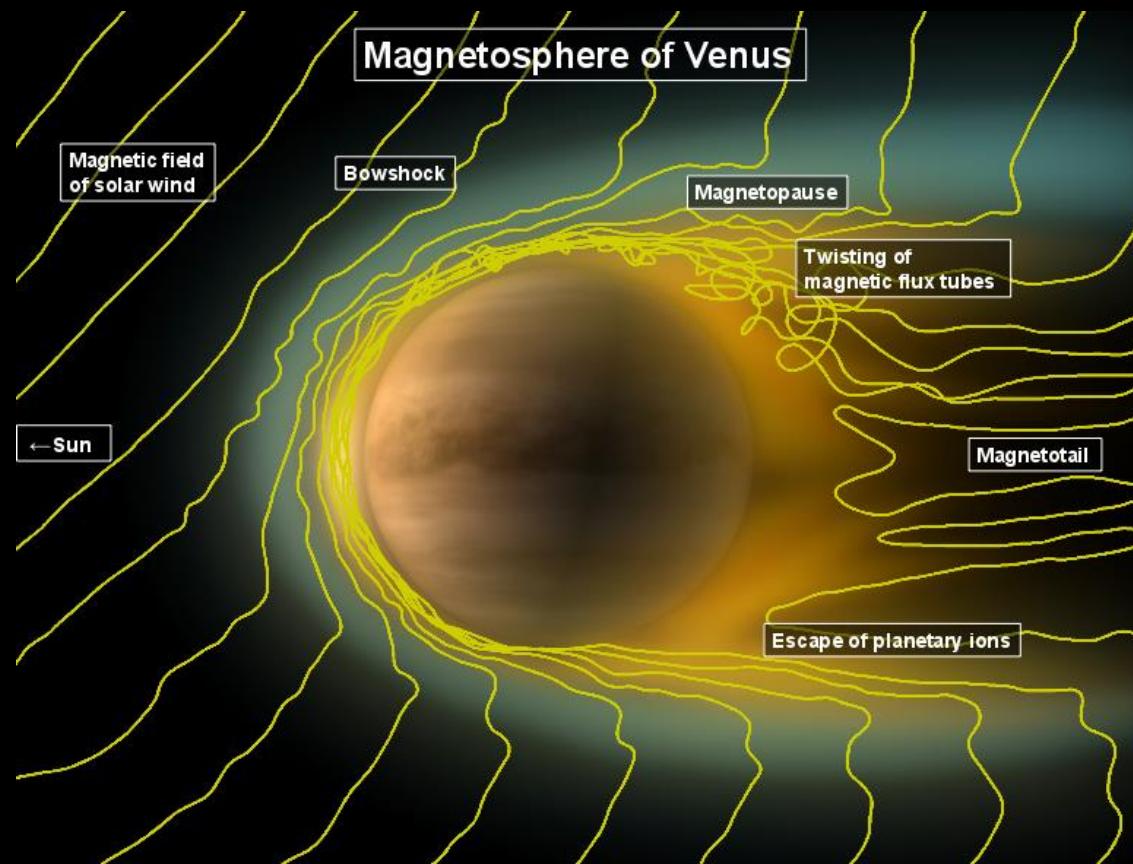


## Mesosfera (65-120 km)

Parte dalla cima della fascia nuvolosa.

Venere ha uno strato di ozono a 100 km di quota.

Venere non ha un campo magnetico ma possiede solo una magnetosfera indotta dal campo magnetico solare trasferito per mezzo del vento stellare. A causa dell'assenza del campo magnetico, il vento solare penetra profondamente nell'atmosfera causandone una considerevole perdita lungo la coda della magnetosfera (ioni O+, H+ e He+, indice anche di continua perdita di acqua).



## POSSIBILITA' DI VITA

Le condizioni ambientali di venere sono considerate inospitali per qualunque forma di vita terrestre nota oggi. Ovvero anche per le forme di vita estremofile (ipertermofili, acidofili e poliestremofili vari).



Strain 121 (121-130°C)

Si pensa che nell'Adeano la Terra avesse un'atmosfera simile a quella di Venere, almeno fino a 4 Ga.

