

VENERE: IL GEMELLO MANCATO

di
Luciano Anselmo

13 Novembre 2000

Il 12 Ottobre 1994, esattamente 502 anni dopo la (ri)scoperta dell'America da parte di Cristoforo Colombo, si concluse una fase estremamente feconda dell'esplorazione di Venere, iniziata poco meno di 34 anni prima. La sonda *Magellan*, lanciata dalla Terra il 4 Maggio 1989 e in orbita intorno a Venere dal 10 Agosto 1990, penetrò infatti negli strati più densi dell'atmosfera, interrompendo le comunicazioni con il Controllo Missione e iniziando una lunga discesa, che l'avrebbe portata a infrangersi sulla superficie del pianeta il giorno seguente.

L'obiettivo primario di *Magellan* era stato quello di mappare gran parte della superficie di Venere con un sofisticato radar ad apertura sintetizzata, capace di "vedere" attraverso lo strato perenne di nubi, impenetrabile alla luce visibile. Dal 15 Settembre 1990 al 4 Settembre 1992, il pianeta era stato completamente sorvolato tre volte, consentendo di mappare il 98% della superficie, con una risoluzione di 100 metri, e di ottenere misure topografiche su scala globale, con la precisione di una trentina di metri. Inoltre il radiometro, che utilizzava simultaneamente la stessa antenna parabolica – di 3,7 metri di diametro – usata dal radar e dall'altimetro, aveva potuto misurare la distribuzione della temperatura superficiale con un'accuratezza di 2°C.

Raggiunti e superati ampiamente gli obiettivi primari della missione, dal 14 Settembre 1992 *Magellan* era stata usata principalmente per studiare il campo gravitazionale di Venere, seguendo con estrema precisione le variazioni in frequenza delle trasmissioni radio causate del moto relativo tra la sonda e le stazioni riceventi a Terra. Per migliorare la risoluzione della mappa gravimetrica si era poi proceduto a circularizzare l'orbita del veicolo spaziale, usando per la prima volta, su un pianeta diverso dal nostro, la tecnica della *frenata aerodinamica*, ben nota a tutti gli appassionati di fantascienza. Nel film *2010* di Peter Hyams, basato sull'omonimo romanzo di Arthur C. Clarke, l'astronave *Leonov* entra infatti in orbita intorno a Giove, senza accendere i motori, sfruttando proprio uno spettacolare "tuffo" nell'alta atmosfera del pianeta gigante.

Ovviamente, per *Magellan* si era trattato di una manovra rischiosa, ma estremamente promettente per il futuro dell'esplorazione planetaria, consentendo di risparmiare molto propellente, quindi anche molta massa e, considerati i costi dei lanci spaziali, soprattutto tanti soldi. Per circularizzare l'orbita con i propri motori, la sonda avrebbe dovuto disporre di una riserva di carburante di circa 900 kg, quasi pari alla sua intera massa (1035 kg). Usando l'effetto frenante dell'atmosfera superiore di Venere, con manovre perfettamente calibrate, era stato invece possibile ottenere gli stessi risultati risparmiando molti dei 95 kg di propellente ancora disponibili.

C'erano voluti ben 730 passaggi attraverso l'atmosfera, fino alla quota minima di 130 km (a 65 km dalla sommità delle nubi), e 70 giorni (tra la fine di Maggio e i primi di Agosto 1993) per abbassare l'altezza dell'apocentro dagli 8500 km originali ai 500 km finali. Riportato il pericentro alla quota di 200 km, lo studio del campo gravitazionale aveva potuto proseguire, con una risoluzione spaziale mai possibile prima di allora.

Dal 30 Agosto 1994, l'orbita era stata progressivamente abbassata per studiare le proprietà dell'alta atmosfera e acquisire nuovi dati gravitazionali fino al 10 Ottobre. Due giorni più tardi, come previsto, il contatto radio con *Magellan* era stato definitivamente perso durante l'orbita numero 15.032, non prima però di aver ottenuto un modello delle anomalie gravitazionali di Venere

con una risoluzione spaziale di 200-400 km, una copertura del 95% e una sensibilità compresa tra 1 e 5 milionesimi dell'accelerazione di gravità sulla superficie terrestre.

Inutile dire che lo studio geologico e geofisico di Venere è stato rivoluzionato dalla mole impressionante di dati collezionati da *Magellan* (in termini quantitativi, questa sonda ha trasmesso a Terra una quantità di bit di informazione doppia rispetto a quella accumulata in tutte le missioni planetarie precedenti). Prima di questa missione solo parte della superficie era nota con una risoluzione paragonabile a quella delle osservazioni telescopiche della Luna; ora quasi tutto il pianeta può essere studiato a una risoluzione confrontabile con quella ottenuta dalle sonde *Viking* per Marte e dalla *Clementine* per la Luna. Tuttavia, nonostante lo squarcio elettromagnetico aperto nella cappa di nubi, un tempo impenetrabile alla curiosità degli esseri umani, Venere rimane tuttora un pianeta per molti versi misterioso e inquietante.

Nessuno dei pianeti noti agli antichi è più spettacolare di Venere: alla minima magnitudine (-4,4), corrispondente alla massima luminosità, è 16 volte più brillante della stella più luminosa. Perfino nella nostra epoca di cittadini dimentichi del cielo notturno, Venere non può sfuggire all'attenzione di molti, come stella della sera o del mattino, scatenando spesso la sindrome da avvistamento UFO.

In periodi ormai remoti dell'esistenza umana, non tanto nel tempo quanto nella mentalità e nel modo di vivere, il pianeta più vicino al nostro godeva sicuramente di maggiore prestigio e considerazione, osservato e venerato da innumerevoli popoli e culture. E anche se nella nomenclatura attuale prevalgono i termini e le associazioni di derivazione greca e latina, seguendo a ritroso il filo della nostra eredità culturale, è nelle antiche culture mesoamericane, in particolare tra i Maya, che troviamo le forme più avanzate di integrazione dei cicli siderali di Venere nella cultura e nella vita sociale di un popolo.

Probabilmente i Maya non avrebbero fatto di Venere la base del loro sistema calendariale e l'ispiratore della loro storia della creazione se il pianeta non avesse ingaggiato nei cieli terrestri una danza tanto complessa quanto regolare, ricca di profondi significati simbolici. Oggi sappiamo che questa danza, che ha ispirato religioni e leggende, dipende da una misteriosa risonanza tra l'orbita di Venere e quella della Terra. Ma andiamo con ordine.

Venere percorre un'orbita quasi circolare a una distanza media dal Sole di poco superiore ai 108 milioni di km, pari al 72% della distanza Terra-Sole. Alla sommità delle nubi, quindi, la luce solare è circa due volte più intensa che sul nostro pianeta. La geometria orbitale determina anche la distanza angolare massima tra Venere e il Sole nei nostri cieli: 47°. Questo angolo delimita il palcoscenico celeste sul quale si proietta il moto del pianeta e determina il fatto che esso possa essere osservato solo come astro del mattino o della sera.

Venere impiega circa 225 giorni per completare una rivoluzione intorno al Sole, ma, poiché la Terra si muove nella stessa direzione, ci vogliono 584 giorni perché i due pianeti ritornino nella stessa configurazione celeste, per esempio alla minima (41 milioni di km) o massima distanza (258 milioni di km). Questo è dunque il *periodo sinodico*, necessario per completare un intero ciclo di apparizioni nei nostri cieli, ma è anche l'intervallo di tempo che separa il ripetersi della geometria più favorevole per lanciare sonde spaziali verso il pianeta.

Se però moltiplichiamo 584 per 5 e dividiamo il risultato per 8, troviamo un risultato familiare, cioè la durata approssimata (365 giorni) dell'anno terrestre. Questa *risonanza* (5:8) implica che Venere completa 5 cicli di apparizioni nei nostri cieli in 8 anni; ciascuno di questi cinque cicli si presenta diverso dagli altri, ma dopo 8 anni la danza celeste di Venere si ripete quasi identica. Finora non è stata elaborata nessuna spiegazione convincente del fenomeno: per alcuni si tratterebbe semplicemente di una coincidenza, anche perché la risonanza è solo approssimativa, ma forse riflette un legame profondo tra Venere e la Terra che risale alla formazione e all'evoluzione dinamica di questi mondi.

Progredire rispetto a ciò che era già noto agli antichi non è stato facile. La nascente scienza moderna riuscì a spiegare i moti osservati con Copernico (1543), collocando Venere tra i pianeti inferiori (cioè con l'orbita interna a quella della Terra); di questo fatto Galileo diede una dimostrazione spettacolare con le sue prime osservazioni telescopiche (1610), trovando che il pianeta esibiva delle fasi analoghe a quelle lunari, mentre girava intorno al Sole. Ma nei tre secoli e mezzo successivi sono state veramente poche le osservazioni e le scoperte capaci di sopravvivere alle indagini compiute a partire dalla seconda metà del XX secolo. Tra queste possiamo annoverare la misura del diametro e la scoperta dell'atmosfera da parte di M. Lomonosov (1761), l'esistenza di una spessa coltre di nubi, distribuita uniformemente e impenetrabile alle osservazioni in luce visibile, la presenza nelle nubi di strutture scure e ad alto contrasto in luce ultravioletta (F.E. Ross, 1927), dovute a una sostanza tuttora misteriosa, e l'identificazione del componente principale dell'atmosfera, l'anidride carbonica, da parte di W.S. Adams e T. Dunham (1932).

Alcune delle osservazioni più significative (per esempio quelle di Lomonosov) sono state condotte durante i rari transiti di Venere sul disco solare. Il quasi perfetto allineamento di Sole, Venere e Terra, indispensabile perché il fenomeno accada, è tutt'altro che frequente, spronando gli astronomi degli ultimi secoli a pianificare con anni di anticipo avventurosi viaggi, in aree spesso remote o inesplorate, per cogliere l'occasione di una vita. Questi transiti occorrono a coppie, con un intervallo di otto anni, separate le une dalle altre da oltre un secolo.

I transiti del 1761 e del 1769 furono particolarmente importanti per raffinare le misure della distanza Terra-Sole e dell'orbita di Venere, per non parlare della scoperta dell'atmosfera e della buona stima del diametro di quest'ultimo. Il comandante della spedizione inglese per il transito del 1769 fu addirittura il leggendario James Cook, che portò il suo vascello *Endeavour* fino all'isola di Tahiti, dove la località di *Punta Venere* ricorda ancora la stazione di osservazione che venne lì impiantata. Ciò che successe in seguito, durante quello straordinario viaggio di esplorazione, ebbe comunque un impatto ben maggiore delle osservazioni astronomiche. Osservazioni valide vennero anche eseguite durante gli ultimi due transiti del 1874 e del 1882, mentre i prossimi appuntamenti sono fissati per l'8 Giugno 2004 e per il 6 Giugno 2012.

Scoprire come il pianeta ruota su se stesso si è rivelato estremamente complicato. La prima osservazione nella direzione giusta, dopo secoli di risultati fasulli, risale al 1956, quando R.S. Richardson riuscì a misurare lo spostamento Doppler delle righe spettrali della luce solare riflessa da Venere. Il risultato sorprendente fu che il pianeta sembrava ruotare lentamente in senso *retrogrado*, vale a dire opposto a quello di tutti gli altri pianeti, eccetto Urano. Su Venere, dunque, l'alba è a ovest e il tramonto è a est.

Nella prima metà degli anni '60, due tecniche completamente diverse entrarono in competizione per determinare accuratamente la velocità di rotazione: l'analisi delle onde radar riflesse dalla superficie e l'osservazione delle misteriose macchie scure nell'ultravioletto, scoperte nel 1927. Entrambe confermarono la rotazione retrograda del pianeta, ma cominciarono a convergere rapidamente su due valori completamente diversi. Mentre infatti le osservazioni nell'ultravioletto ottennero un periodo di rotazione di 4 giorni, le misure radar, compiute con radar-telescopi sempre più potenti e accurati, diedero alla fine l'incredibile risultato di 243 giorni. La conclusione fu che i radar avevano effettivamente misurato la rotazione (sorprendentemente lenta) della superficie solida, mentre nell'ultravioletto era stata osservata la rotazione (sorprendentemente rapida) delle nubi più alte. In ogni caso si trattava di risultati stupefacenti, che andavano ad aggiungersi alla lista delle stranezze di Venere.

Quindi il pianeta impiega meno tempo a completare una rivoluzione attorno al Sole che a ruotare su se stesso. Inoltre, l'asse di rotazione si discosta di appena due gradi dalla perpendicolare all'orbita, per cui su Venere non ci sono praticamente stagioni. La durata del giorno solare medio può essere calcolata combinando i due moti, di rotazione e di rivoluzione, ottenendo circa 117 giorni. In altre parole, se il pianeta avesse un'atmosfera trasparente, bisognerebbe aspettare 243

giorni per osservare una rivoluzione completa della volta celeste e 117 giorni per osservarne una del Sole. Tutti gli astri, comunque, sorgerebbero a ovest e tramonterebbero a est.

La durata del giorno solare ha rivelato un'altra inattesa risonanza tra Venere e la Terra. Infatti, a meno dello 0,03%, un periodo sinodico comprende esattamente cinque giorni solari: ciò significa che quando, ogni 584 giorni, Venere transita alla *congiunzione inferiore*, cioè alla minima distanza dalla Terra, esso rivolge verso di noi sempre la stessa faccia. Tutte le teorie fisiche proposte non sono riuscite finora a spiegare questa risonanza; certo potrebbe trattarsi di un'altra coincidenza, ma probabilmente ci sfugge un legame profondo che deve aver accomunato la formazione e l'evoluzione dei due mondi in un remoto passato.

Nessuna singola proprietà è più importante della massa nel determinare il destino di un mondo e quella di Venere è l'81,4% di quella terrestre. Se poi consideriamo il diametro (95%) e la densità media (95%), praticamente identici a quelli della Terra, non è difficile capire come si sia potuto lungamente pensare a Venere come al pianeta gemello del nostro. A metà del XX secolo, all'apice di questa convinzione, i romanzi di fantascienza, per non parlare delle pubblicazioni scientifiche, dipingevano un pianeta dal clima caldo e umido, ricoperto da una vegetazione lussureggiante, da vaste paludi e da oceani. Alcuni scienziati arrivarono a ipotizzare l'esistenza di enormi riserve di petrolio, mentre altri cercarono di dedurre la natura della vegetazione dalle proprietà della luce solare riflessa. Ma alcune enigmatiche osservazioni stavano per mutare radicalmente questo quadro, così radicato nell'immaginario collettivo.

L'atmosfera del pianeta è infatti trasparente alle onde radio (da qui l'utilità dei radar per misurare la rotazione della superficie solida) e già nel 1956 i primi radiotelescopi puntati su Venere avevano misurato un flusso di microonde molto superiore al previsto. Il modo più semplice per spiegare queste osservazioni era di supporre che la superficie del pianeta fosse estremamente calda, con una temperatura superiore ai 300°C. Per diversi anni, tuttavia, questa conclusione venne ferocemente contrastata, perché troppo lontana dall'idea che gli stessi scienziati si erano fatta. Nonostante le ulteriori conferme, bisognò dunque attendere le prime sonde spaziali, cioè l'inizio degli anni '60, perché tutti si convincessero della realtà. Oggi sappiamo che la temperatura superficiale è superiore ai 460°C e che la pressione dell'aria si aggira sulle 90 atmosfere, corrispondenti a quelle che un batiscafo deve sostenere a circa 900 metri di profondità nei nostri oceani. Quindi, il paradigma del paradiso naturalistico tropicale venne soppiantato, bruscamente, da quello dell'inferno dantesco.

A partire dal Febbraio 1961, ben 41 sonde sono state lanciate alla volta di Venere, anche se molte di queste, soprattutto all'inizio, sono andate incontro al fallimento. Gran parte di ciò che sappiamo oggi si deve comunque a questi intrepidi esploratori robotici, lanciati in numero maggiore solo verso la Luna. Le sonde ci hanno rivelato un pianeta privo di campo magnetico, e quindi di magnetosfera, bombardato direttamente dal *vento solare*, le cui particelle ionizzano gli strati più alti dell'atmosfera. Ma soprattutto ci hanno permesso di penetrare nell'atmosfera e di compiere misure dirette, sia durante la discesa che sulla superficie. È stato così possibile determinare l'andamento della pressione, della temperatura e dei venti in funzione della quota, nonché misurare la composizione dell'aria e delle nubi.

L'atmosfera di Venere contiene circa 100 volte più gas di quella terrestre e per certi aspetti assomiglia di più a un oceano liquido. Il costituente principale è l'anidride carbonica (96,5% in volume), seguita dall'azoto (3,5%). Sono poi presenti altre sostanze in tracce, come l'anidride solforosa (180 parti per milione), l'argon (70 ppm), il vapore acqueo (30 ppm), il monossido di carbonio (23 ppm), il neon (7 ppm) ed altro ancora. Quindi, non solo l'acqua allo stato liquido è completamente assente dalla superficie, ma la stessa atmosfera è estremamente secca rispetto agli standard terrestri.

Nonostante venga riflesso nello spazio il 76% della radiazione solare incidente – il che spiega la sfolgorante brillantezza del pianeta – e soltanto il 2% riesca a raggiungere il suolo,

l'anidride carbonica è così abbondante ed efficace nell'assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla superficie, da provocare un poderoso *effetto serra*. Se l'atmosfera fosse totalmente trasparente nell'infrarosso, la temperatura superficiale scenderebbe sotto zero; invece, grazie all'effetto serra innescato dall'anidride carbonica, l'equilibrio termico è raggiunto solo a una temperatura superficiale, elevatissima, di oltre 460°C.

Le nubi, che per secoli hanno impedito agli astronomi di osservare la superficie venusiana, sembrano uniformi dall'esterno, ma presentano una struttura verticale che cambia in funzione del luogo e del tempo. Ogni sonda che è riuscita a compiere delle misure ha perciò trovato un profilo diverso. Comunque, è stato possibile determinare alcune caratteristiche sostanzialmente invariati. Le nubi vere e proprie sono organizzate in tre strati distinti, separati da aria relativamente limpida. Lo strato superiore si estende dai 56 ai 68 km di altezza e consiste prevalentemente di due tipi di goccioline: piccole come quelle di una nebbia leggera e minuscole come particelle di fumo. Lo strato intermedio, tra 51 e 56 km, è più denso, ma è ancora dominato dallo stesso tipo di gocce. Solo nell'ultimo strato di nubi, tra i 48 e i 51 km di quota, troviamo in netta prevalenza gocce più grandi, con dimensioni confrontabili a quelle che caratterizzano le nubi terrestri. Lo strato inferiore è anche il più denso, opaco e turbolento.

Da fuori le nubi sono totalmente impenetrabili nel visibile, ma ciò dipende dal loro enorme spessore, perché in realtà sono molto diffuse rispetto a quelle terrestri. Solo nello strato inferiore si trovano infatti gocce paragonabili, per dimensioni, a quelle delle nostre nubi, ma la densità media è inferiore di un fattore 10 e quella massima di un fattore 100. Se ci volassimo dentro, quindi, avremmo intorno a noi una visibilità di diversi chilometri.

Sopra le nubi più alte, fino all'altezza di 88 km, si estende una sottile foschia, mentre al di sotto delle nubi più spesse, fino alla quota di 32 km, si trova probabilmente uno strato di *virga* perpetua, cioè di pioggia che evapora prima di raggiungere il suolo, come succede su alcuni deserti terrestri. Più in basso ancora l'aria è limpida, mossa da deboli venti che, sulla superficie, non superano i 4 km/h.

Ma di cosa sono fatte le nubi? Purtroppo la risposta a questa domanda è ancora incompleta. Infatti, anche se sulla presenza dell'acido solforico non ci sarebbero dubbi, soprattutto per spiegare le gocce più piccole, la composizione chimica delle nubi potrebbe essere molto più varia e complessa, coinvolgendo non solo lo zolfo in varie combinazioni, cristalli solidi inclusi, ma anche il cloro rilevato dalla sonda sovietica *Venera 12* e altre sostanze più esotiche, come quella, ancora misteriosa, che determina l'assorbimento nell'ultravioletto, scoperto nell'ormai lontano 1927. La poca acqua presente è a sua volta concentrata nelle nubi, in soluzione con l'acido solforico.

Lo studio delle nubi e della bassa atmosfera di Venere potrebbe essere rivoluzionato in futuro da una scoperta relativamente recente, successiva a quasi tutte le sonde lanciate per studiare il pianeta. Nel 1984, infatti, durante la calibrazione di un nuovo spettrometro infrarosso, D. Allen scoprì due picchi di emissione dall'emisfero notturno di Venere, a 1,7 e 2,3 micrometri. Il fatto era assolutamente sorprendente, perché con tutta quell'anidride carbonica si pensava che l'atmosfera fosse completamente opaca nel vicino infrarosso. Tuttavia, estesi esami di laboratorio e calcoli al computer confermarono l'esistenza delle due "finestre" osservate dall'astronomo australiano. Per la prima volta divenne così possibile penetrare le nuvole più alte, per studiare direttamente la bassa atmosfera e la struttura dello strato inferiore di nubi.

Mettendo insieme le nuove osservazioni con i dati raccolti dalle sonde, un quadro coerente cominciò a emergere. Le nubi più basse non formano uno strato continuo, ma presentano squarci attraverso i quali la radiazione infrarossa può raggiungere i nostri strumenti, portando con sé informazioni preziose sulle condizioni dell'atmosfera sottostante. Inoltre, seguendo i movimenti delle aree di schiarita tra le nubi, è stato possibile confermare che lo strato inferiore si muove verso ovest, ma più lentamente delle nubi più alte, completando un giro del pianeta in 5-7 giorni invece che in 4.

A causa della lenta rotazione del pianeta, la circolazione atmosferica è dominata da due gigantesche celle convettive, che trasportano verso i poli l'aria equatoriale riscaldata dal Sole e

riportano verso l'equatore l'aria polare più fredda. Quasi tutta l'energia solare è assorbita dalle nubi e la sommità delle due celle, una per l'emisfero nord e l'altra per quello sud, coincide in pratica con gli strati nuvolosi più elevati. I dettagli sono ovviamente più complessi, con altre celle convettive sopra e (forse) sotto le nubi, vortici polari e quant'altro, ma ciò che è importante sottolineare è l'estrema efficacia del rimescolamento atmosferico, che fa di Venere un pianeta con la temperatura superficiale praticamente costante, di giorno come di notte, all'equatore come ai poli (le differenze massime sono di pochi gradi).

Ancora misteriosa rimane la causa della super-rotazione verso ovest osservata in corrispondenza delle nubi. Alla loro sommità la velocità dei venti è così alta, 360 km/h, da distorcere sensibilmente le celle convettive e da produrre le caratteristiche configurazioni a V o a Y che si osservano nell'ultravioletto. Scendendo di quota, la velocità dei venti si riduce notevolmente, fino a ridursi praticamente a zero sulla superficie. Ma a causa della densità atmosferica, anche dei venti di pochi km/h possono spostare delle sabbie fini, formando delle dune. I pochi dati disponibili lasciano ritenere che i venti dominanti al suolo spirino dai poli verso l'equatore, in accordo con una circolazione atmosferica a cella convettiva singola per ogni emisfero.

Per ovvi motivi, solo in tempi relativamente recenti lo studio della geologia venusiana ha potuto svilupparsi e progredire. Infatti si è dovuto attendere gli anni '70 per disporre delle prime immagini e analisi della superficie, trasmesse dalle sonde sovietiche *Venera*, e delle prime mappe radar dell'emisfero rivolto verso la Terra durante le congiunzioni inferiori, ottenute dai più potenti radartelescopi americani. Ma è solo con la straordinaria messe di dati raccolta dal *Magellan* che si è potuto caratterizzare geologicamente il pianeta nella sua globalità.

Oltre 5/6 della superficie sono occupati da dolci pianure vulcaniche, la cui elevazione non si discosta per più di 1 km – in più o in meno – dal raggio medio di Venere, pari a 6051,84 km. Le regioni montagnose sono praticamente concentrate in due grandi continenti (*terrae*), *Aphrodite* e *Ishtar*, che occupano il resto della superficie. Le montagne più alte (*Maxwell Montes*), che toccano gli 11 km di altezza, si trovano a *Ishtar Terra*, che assomiglia al massiccio himalayano, con un altopiano (*Lakshmi Planum*) paragonabile al Tibet, ma due volte più esteso.

Una scoperta sorprendente della *Magellan* è che tutte le regioni più alte di 5 km mostrano una riflettività alle onde radar estremamente pronunciata. In altre parole, è come se la composizione mineralogica del suolo dipendesse dall'altezza, o fosse caduta, al di sopra di quella quota, una specie di "neve", capace di riflettere le microonde. Diverse reazioni fisiche e chimiche dipendenti dalla temperatura sono state invocate per spiegare il fenomeno, ma un consenso generale in proposito non è ancora stato raggiunto. A temperature inferiori a quella cui corrisponde la transizione, circa 438°C, il ferro contenuto nei minerali potrebbe catturare lo zolfo presente nell'aria per formare pirite, molto riflettente alle frequenze radar, ma il fenomeno è anche compatibile con un sottilissimo strato (circa un millesimo di millimetro) di tellurio, un metallo fragile e raro, che condensa proprio alle giuste condizioni di temperatura e pressione.

I dati gravimetrici hanno rivelato un'altra notevole differenza rispetto alla Terra: le anomalie gravitazionali su Venere sono infatti fortemente correlate alla topografia, cioè dove ci sono le montagne la gravità è un po' più intensa, mentre dove ci sono delle depressioni è un po' più debole. Ciò significa che queste formazioni non sono in equilibrio idrostatico, cioè non galleggiano liberamente sulla roccia meno viscosa sottostante, ma sono sostenute da forze possenti, sulle quali esistono teorie contrastanti. I monti *Maxwell*, ad esempio, potrebbero essere il risultato relativamente recente, geologicamente parlando, dello scontro tra rocce continentali convergenti; le forze di compressione coinvolte sosterebbero, dunque, il peso del massiccio. Oppure è la forza generata dall'ascesa di materiali più leggeri nel mantello di Venere, in corrispondenza di un cosiddetto *punto caldo*, a produrre la spinta necessaria. Secondo questa seconda teoria, le zone depresse, come *Lavinia Planitia*, si troverebbero dunque sopra delle regioni del mantello caratterizzate da rocce più fredde e pesanti in fase di affondamento.

Le osservazioni di *Magellan* hanno rivelato circa 1000 crateri da impatto, con un diametro superiore ai 3 km. Ciò ha confermato quanto previsto in precedenza, che cioè solo le meteoriti più grandi di 30 metri avrebbero potuto attraversare la densa atmosfera di Venere, mantenendo l'energia cinetica necessaria alla formazione di un cratere. Quasi tutti i crateri sono perfettamente conservati e distribuiti uniformemente sul pianeta, come se l'intera superficie fosse stata plasmata da un unico evento vulcanico di portata planetaria, avvenuto, o concluso, in un determinato periodo geologico. Dalla conta dei crateri è stata dedotta un'età della superficie di circa 600 milioni di anni, con un'incertezza di 200 milioni di anni in più o in meno. Si tratta di un'età molto inferiore a quella dei mari lunari, ma sostanzialmente maggiore di quella dei bacini oceanici terrestri. Ciò confermerebbe, assieme all'aspetto ben conservato dei crateri stessi, che da mezzo miliardo di anni a questa parte i processi tettonici su Venere avrebbero svolto un ruolo molto limitato nel modellarne la superficie.

Nessun altro pianeta ha comunque così tanti vulcani: in totale potrebbero essere circa 1 milione. I grandi vulcani a scudo sono circa 150, con diametro compreso tra i 100 e i 700 km ed altezze tra i 300 e i 5500 metri. La loro ampia distribuzione geografica confermerebbe l'assenza di una tettonica a zolle estesa. Piuttosto si osservano con maggiore frequenza in aree dove la crosta è fratturata dalla probabile azione di punti caldi del mantello e alcuni di essi, concentrati nella *Beta Regio*, potrebbero essere stati attivi anche di recente. Comunissimi – oltre 100.000 – sono i piccoli vulcani a scudo, con diametro inferiore ai 20 km, mentre si contano circa 270 strutture di dimensioni intermedie, spesso di difficile classificazione.

I vulcani a cono sono relativamente rari, mentre si osservano diverse dozzine di formazioni peculiari a forma di frittella, con un diametro di 25 km e un'altezza di 2 km. Note come domi a *pancake*, sono state probabilmente prodotte da improvvise eruzioni di lava molto viscosa. Eruzioni di lava a bassissima viscosità avrebbero invece prodotto i canali di lava, 40 dei quali più lunghi di 100 km e uno, *Hildir*, di circa 7000 km. Larghi tipicamente 1,5 km, questi canali sono profondi 150-300 metri.

Ma le strutture vulcaniche più peculiari di Venere sono le cosiddette *coronae*, strutture circolari circondate da anelli concentrici di rilievi e fratture. Ne sono state identificate circa 400, con diametri fino a 2000 km. Si tratterebbe in realtà di vulcani a scudo abortiti sul nascere, per l'esaurirsi della spinta ascensionale e il successivo affondamento di gigantesche bolle di roccia in moto nel mantello. Tuttavia, alcuni indizi lasciano ritenere che forze endogene analoghe possano essere ancora attive, per esempio in *Atla Regio*.

I segni di attività tettonica risultano concentrati in un'ampia fascia che abbraccia l'equatore e include *Aphrodite Terra*, vasta quanto l'Africa, e *Alpha Regio*. Circa il 10% della superficie di Venere risulta ricoperta da aree intensamente deformate e corrugate, chiamate *tesserae*, dove la crosta, probabilmente la più antica del pianeta, risulta compressa e piegata in più punti, formando complessi sistemi di faglie e montagne. Anche *Ishtar Terra*, grande quanto l'Australia, presenta vaste estensioni di questo tipo. Tuttavia, ci si trova di fronte a ciò che sembra più la sovrapposizione di tanti sistemi tettonici di piccola scala, che la manifestazione di un sistema attivo su scala globale, come accade sul nostro mondo.

Alcune sonde sovietiche, nel breve tempo disponibile prima di essere sopraffatte dal calore insopportabile, sono riuscite a trasmettere alcune immagini e analisi del suolo che confermerebbero il quadro desunto dall'orbita. *Venera 9, 10, 13 e 14*, atterrate sui fianchi di *Beta e Phoebe Regio*, hanno misurato una composizione delle rocce tipicamente basaltica, simile a quella delle distese di lava dei mari lunari e dei fondali oceanici terrestri. *Venera 8*, atterrata sulle pianure più a est, accanto a un domo a *pancake*, avrebbe invece trovato delle rocce meno dense più simili al granito, mentre *VEGA 1 e 2*, finite nei pressi di *Aphrodite Terra*, avrebbero individuato sia rocce basaltiche che, nel caso della seconda sonda, anortosite, cioè il principale componente dell'antica crosta lunare.

Immagini panoramiche del paesaggio circostante sono state ottenute dai moduli di discesa delle sonde *Venera 9, 10, 13 e 14*. Col senno di poi, essendo tutti atterrati in località geologicamente simili, non sorprende che le immagini siano quasi indistinguibili le une dalle altre. La superficie è disseminata di massi e affioramenti appiattiti di aspetto basaltico, nonché di ghiaia e di polvere più fine. L'aspetto è coerente con la scarsa erosione, di natura prevalentemente termochimica, che ci si può attendere su un mondo dove la mancanza di acqua superficiale allo stato liquido e la debolezza dei venti fanno sì che formazioni geologiche molto antiche possano sembrare appena formate ai nostri occhi, abituati ai paesaggi terrestri.

Ma che aspetto avrebbe per noi la superficie di Venere? A parte il caldo e la pressione insopportabili, ci colpirebbe prima di tutto la scarsa luminosità anche in pieno giorno, simile a quella che sul nostro pianeta si osserva quando è molto nuvoloso. Ma a questo gli occhi possono abituarsi in fretta e non avremmo alcuna difficoltà a guardarci intorno, fino all'orizzonte, poiché l'aria è limpida. Piuttosto ci mancherebbero il cielo, sempre coperto, e il Sole, avvertibile solamente dal chiarore diffuso. Di stelle, poi, neanche a parlarne. Al massimo potremmo divertirci a seguire gli squarci e i rapidi spostamenti, da est a ovest, dello strato di nubi più basso.

Se portassimo sulla Terra alcune delle rocce fotografate dalle sonde *Venera*, ci apparirebbero di colore grigio scuro. Ma su Venere la luce solare è talmente diffusa dalla densa atmosfera e dalla spessa coltre di nubi, che solo la luce rossa riesce a penetrare fino al suolo. Quindi vedremmo qualunque cosa – rocce, paesaggio e nuvole – colorata delle sfumature del rosso e dell'arancione.

Dopo 59 giorni di luce e alcune settimane di crepuscolo, che illumina i cieli orientali, piomba finalmente l'oscurità, ma anche a "mezzanotte" il buio non è completo. La superficie è infatti talmente calda da risplendere di una debole e sinistra luminescenza rossastra, mentre il bagliore di qualche lampo lontano, tra le nubi, può rischiarare il cielo per un attimo. E nelle lunghe settimane che ci separano dal riemergere dei chiarori dell'alba, a occidente, potremmo chiederci come mai un pianeta così simile alla Terra sia andato incontro a un destino tanto diverso, e se in tutto questo non ci sia una lezione importante da imparare.

La ricerca scientifica degli anni '80 ha visto prepotentemente riemergere nuove forme di *catastrofismo*, secondo le quali l'evoluzione dei pianeti sarebbe anche il risultato di eventi episodici e catastrofici, praticamente casuali, sovrapposti ai processi, più uniformi e gradualisti, che operano incessantemente giorno dopo giorno. Tanto per limitarci a due esempi famosi, sia per l'origine della Luna che per l'estinzione dei dinosauri si invocano oggi spiegazioni catastrofiste, nella fattispecie l'impatto con la Terra di altri corpi del Sistema Solare, che avrebbe anche potuto non avvenire. Nel tentativo di spiegare un pianeta come Venere in relazione al nostro, è dunque fondamentale riuscire a distinguere le tendenze inevitabili, risultato delle proprietà intrinseche, dall'opera di eventi cruciali, ma del tutto casuali.

Per esempio, la strana rotazione del pianeta, lentissima e retrograda, è probabilmente il risultato dell'urto con un grosso planetesimo durante le fasi finali dell'accrescimento del pianeta. Questo evento *casuale* avrebbe però determinato delle conseguenze importanti, come il mancato innesco, nel nucleo, dell'effetto dinamo che si ritiene generi il campo magnetico terrestre. In altre parole, se oggi Venere è privo sia di campo magnetico che di magnetosfera lo deve non tanto a una composizione e a una struttura interna anomala, quanto a un evento casuale verificatosi in un passato remoto.

La lenta rotazione potrebbe anche aver svolto un ruolo importante nell'instaurare l'effetto serra che portò alla progressiva evaporazione degli oceani, alla perdita dell'acqua nello spazio, dissociata dalla radiazione ultravioletta, e alla liberazione di gran parte dell'anidride carbonica nell'atmosfera. A tutt'oggi non è possibile dire se la Terra, che contiene nel mare, nei sedimenti oceanici e nelle rocce una quantità analoga di questo gas, possa andare incontro a un destino simile,

perché troppi sono i particolari da chiarire, gli aspetti differenti e i misteri da svelare. Ma è certo che i modelli climatici terrestri sono progrediti molto anche grazie allo studio di Venere e di Marte.

Pure sul piano geologico le differenze non mancano. Simili per composizione e dimensioni, la Terra e Venere dovrebbero disperdere una quantità di calore interno non troppo diversa. Il nostro pianeta, ricco di acqua e con temperature superficiali miti, ha scelto di farlo con la tettonica a zolle, ma su Venere ciò potrebbe essere impedito dalla mancanza dell'effetto lubrificante dell'acqua e da una litosfera troppo sottile e leggera, a causa dell'alta temperatura superficiale delle rocce. Le forze risultanti dai moti convettivi nel mantello tenderebbero quindi a deformare ampie aree della crosta sostanzialmente immobili, interessate da fenomeni vulcanici e tettonici estesi.

Ma Venere è ancora un pianeta geologicamente attivo? Secondo le misure atmosferiche del *Pioneer Venus Orbiter* e alcune osservazioni della *Magellan*, sembrerebbe che alcuni vulcani abbiano eruttato di recente. Inoltre, diverse componenti in traccia nell'atmosfera, come l'anidride solforosa e l'acqua, verrebbero rimosse in tempi relativamente rapidi se non esistesse una sorgente, probabilmente vulcanica, in grado di rinnovarne le scorte. Esistono poi delle strutture tettoniche e vulcaniche che devono essere il risultato di fenomeni risalenti a non più di pochi milioni di anni fa.

Quanto al grosso della superficie, è evidente che un evento drammatico nella storia del pianeta ha avuto luogo, o si è concluso, circa mezzo miliardo di anni fa. Da cosa è stato causato? Alcune simulazioni al computer hanno ottenuto una risposta per certi versi inquietante: il mantello del pianeta alternerebbe lunghi periodi di relativa quiescenza ad altri, brevi, di grande instabilità, in grado di provocare un rapido sconvolgimento della superficie. In altre parole, il calore interno verrebbe dissipato all'esterno non gradualmente, come avviene sulla Terra con la tettonica a zolle, ma nel corso di spasmi planetari, limitati nel tempo quanto catastrofici. Le cosiddette *tesserae*, che coprono un decimo del pianeta, potrebbero essere le uniche aree preesistenti sopravvissute all'ultima di queste catastrofi globali.

La circolazione convettiva nel mantello è descritta da equazioni non lineari, il che significa che piccoli cambiamenti nelle condizioni al contorno possono produrre un drammatico mutamento nella struttura delle celle di convezione. Forse il graduale raffreddamento interno di un pianeta di tipo terrestre può innescare un'improvvisa transizione da una struttura ordinata e stabile, come quella che osserviamo sulla Terra, a una più caotica e tumultuosa, come quella che prevarrebbe su Venere. Se così fosse, i nostri lontani discendenti dovranno aggiungere un'altra preoccupazione a una lista già molto lunga.

Attualmente non sono in progetto nuove missioni spaziali alla volta di Venere, ma continua l'analisi dei dati trasmessi da *Magellan*. Gli interrogativi senza risposta sono ancora numerosi e riguardano la super-rotazione dell'atmosfera, la sostanza che assorbe l'ultravioletto nelle nubi, la stabilità del clima, la composizione precisa dei componenti atmosferici in tracce e delle nubi, la natura mineralogica del terreno, il tasso attuale di attività vulcanica e tettonica, la struttura interna del pianeta e molti altri ancora. Diverse idee sono state elaborate per tornare su Venere con piccoli aerei, palloni aerostatici e sonde atmosferiche, al costo di una grossa produzione cinematografica hollywoodiana. Per realizzare stazioni automatiche e sismometri in grado di operare sulla superficie per giorni, invece che per ore, sarebbero tuttavia necessari investimenti ben più consistenti, per non parlare della possibilità di prelevare dei campioni e riportarli a Terra.

L'enfasi di oggi sull'esplorazione di Marte ha fatto un po' passare in secondo piano i misteri ancora irrisolti di Venere. Certo il pianeta rosso presenta anch'esso interessanti sfide scientifiche e rappresenta probabilmente la prossima tappa dell'esplorazione umana, ma soprattutto è molto più vendibile, in termini di immagine pubblicitaria, al pubblico dei contribuenti che, in ultima analisi, finanzia queste missioni spaziali. Tuttavia, se cerchiamo delle risposte sull'evoluzione passata e sul destino futuro del nostro pianeta, non potremo fare a meno di tornare su Venere.

Riquadro

IL PIANETA VENERE IN CIFRE

Distanza media dal Sole	108,2 milioni di km = 0,723 UA
Eccentricità dell'orbita	0,007
Periodo orbitale	224,701 giorni terrestri
Rotazione attorno al proprio asse	retrograda (da E a W)
Obliquità dell'asse di rotazione rispetto al piano dell'orbita	178°
Periodo di rotazione siderale (rispetto alle stelle)	243,01 giorni terrestri
Periodo sinodico	584,0 giorni terrestri
Durata del giorno solare medio	116,8 giorni terrestri
Raggio medio	6051,84 km
Diametro (Terra = 1)	0,949
Massa (Terra = 1)	0,814
Schiacciamento polare	0
Densità media	5,24 g/cm ³
Gravità superficiale (Terra = 1)	0,905
Albedo	76%
Pressione atmosferica superficiale (Terra = 1)	90
Temperatura superficiale	470°C
Principali costituenti dell'atmosfera	anidride carbonica (96,5%) azoto (3,5%)

Riquadro

L'ESPLORAZIONE SPAZIALE DI VENERE

La missione della sonda americana *Magellan* ha coronato oltre un trentennio di esplorazione spaziale del pianeta più vicino alla Terra.

Dopo la Luna, Venere è il corpo celeste cui sono state dedicate più missioni spaziali (una quarantina). Quantitativamente lo sforzo maggiore è stato sostenuto dall'ex Unione Sovietica, che ha destinato allo scopo 32 veicoli spaziali (17 fallimenti completi, 6 successi parziali e 9 successi pieni) contro i 9 degli Stati Uniti (1 fallimento completo e 8 successi pieni, includendo però anche tre sonde in transito verso altri pianeti), ma i risultati ottenuti sono ripartiti molto più equamente tra le due superpotenze. Sintetizzando al massimo, si può affermare che gli Stati Uniti hanno ottenuto dati molto più raffinati e completi su scala globale (atmosfera, geografia, topografia, campo gravitazionale), mentre l'Unione Sovietica si è concentrata sullo studio delle caratteristiche superficiali in corrispondenza di alcune località specifiche.

La prima sonda transitata con successo in prossimità di Venere è stata *Mariner 2* (14 Dicembre 1962), mentre *Venera 9* è stata la prima ad inserirsi in orbita (22 Ottobre 1975). Da allora sono diventate satelliti di Venere altre cinque sonde (*Venera 10*, *Pioneer Venus 1*, *Venera 15*, *Venera 16* e *Magellan*).

Il 1 Marzo 1966, *Venera 3* è stato il primo oggetto artificiale a infrangersi sulla superficie di Venere, ma i contatti radio con la Terra si erano interrotti molto tempo prima dell'impatto. Si è dovuto aspettare fino al 15 Dicembre 1970 perché una capsula, quella di *Venera 7*, riuscisse a toccare il suolo funzionante, trasmettendo dati per 23 minuti. In seguito altri 11 moduli di discesa sono riusciti a trasmettere dati dalla superficie: due di questi (*Venera 9* e *10*) hanno inviato le prime immagini panoramiche in bianco e nero (1975), altri due (*Venera 13* e *14*) le prime immagini a colori (1982), mentre 3 moduli (*Venera 13*, *14* e *Vega 2*) hanno analizzato la composizione mineralogica del suolo. La sonda che è sopravvissuta di più sulla superficie di Venere, dopo l'atterraggio, è *Venera 13*, che ha trasmesso misurazioni per 127 minuti.

Nel Giugno 1985, *Vega 1* e *2* hanno pure liberato nell'atmosfera di Venere due palloni aerostatici che, trasportati per migliaia di chilometri dalle correnti, hanno trasmesso dati per 46 ore e mezzo. Da *Venera 4* in avanti, ben 20 sonde hanno compiuto misurazioni dirette all'interno dell'atmosfera, mentre *Mariner 10*, *Galileo* e, soprattutto, *Pioneer Venus 1*, ne hanno studiato la circolazione globale dallo spazio.

Quattro sonde, infine, sono riuscite ad ottenere delle mappe della superficie del pianeta, usando il radar per squarciare il velo di nubi impenetrabile alla luce visibile: *Pioneer Venus 1* (risoluzione di 75 km), *Venera 15* e *16* (risoluzione di 2 km) e *Magellan* (risoluzione di 100 metri).

- 5 La sonda, gemella di Mariner 1, è la prima a sorvolare con successo un pianeta. Il 14 Dicembre 1962 passa a 34.827 km da Venere.
- 6 La sonda (modello 2MV-1) non riesce a lasciare l'orbita terrestre.
- 7 Anche questa sonda (modello 2MV-2) non riesce ad abbandonare l'orbita terrestre. Un veicolo spaziale identico potrebbe essere stato perso durante un lancio abortito, non rilevato dai sistemi di sorveglianza americani.
- 8 Destinata a collaudare intorno alla Luna le tecnologie per l'esplorazione di Venere, la sonda, del tipo 3MV-1A, rimane intrappolata in orbita terrestre.
- 9 Lancio fallito di una sonda modello 3MV-1A.
- 10 Lancio fallito di una sonda modello 3MV-1A.
- 11 La sonda, del tipo 3MV-1A, non riesce a lasciare l'orbita terrestre.
- 12 Il contatto radio con la sonda di 825 kg (modello 3MV-1A) viene perso intorno alla metà di Maggio.
- 13 Il contatto radio con la sonda di 963 kg (modello 3MV-2) viene perso poco prima del sorvolo di Venere, verso la fine del Febbraio 1966.
- 14 La sonda di 960 kg (modello 3MV-1), con un modulo di discesa di 337 kg, viene persa durante la prima metà del suo viaggio. Probabilmente si è schiantata su Venere il 1 Marzo 1966.
- 15 La sonda, identica alla precedente, non riesce a lasciare l'orbita di parcheggio attorno alla Terra.
- 16 Lancio fallito di una sonda del tipo 3MV-2.
- 17 Sonda del tipo V-67 di 1100 kg. Il 18 Ottobre 1967, il modulo di atterraggio di 384 kg entra con successo nell'atmosfera di Venere, trasmettendo dati all'astronave madre durante la discesa. Il veicolo finisce schiacciato dall'enorme pressione atmosferica alla quota di 27 km.
- 18 La sonda di 245 kg sorvola con successo Venere il 19 Ottobre 1967, passando a una distanza minima di 4100 km.
- 19 Gemella di Venera 4, non riesce a lasciare l'orbita di parcheggio.
- 20 Sonda del tipo V-69 di 1130 kg. Il modulo di atterraggio di 405 kg si tuffa nell'atmosfera di Venere il 16 Maggio 1969, ma finisce schiacciato dalla pressione a 24-26 km di quota.
- 21 Gemella di Venera 6. Il modulo di atterraggio trasmette gli ultimi dati dalla quota di 10-12 km, il 17 Maggio 1969.
- 22 Sonda del tipo V-70 di 1180 kg. Il 15 Dicembre 1970, il modulo di atterraggio di 500 kg riesce a raggiungere funzionante, seppure menomato, la superficie di Venere, trasmettendo dati per 23 minuti. E' la prima volta che una sonda atterra con successo su una superficie planetaria.
- 23 Sonda gemella di Venera 7 rimasta intrappolata in orbita terrestre.
- 24 Sonda del tipo V-72 di 1184 kg. Primo successo pieno di una missione sovietica. Il modulo di atterraggio di 495 kg trasmette dati dalla superficie per 50 minuti, il 22 Luglio 1972.
- 25 Sonda gemella di Venera 8, rimasta intrappolata in orbita terrestre.
- 26 La sonda di 503 kg sorvola con successo Venere il 5 Febbraio 1974, alla distanza minima di 5768 km, sfruttando il campo gravitazionale del pianeta per dirigersi verso Mercurio. Vengono trasmesse a Terra 4165 immagini del pianeta e altre preziose misurazioni.
- 27 Sonda, del tipo 4V, di 4936 kg (inclusi 1039 kg di propellente). Primo veicolo della seconda generazione, lanciato da un potente missile Proton (tutti i lanci precedenti avevano usato il vettore Molniya). La sezione orbitale, di 2283 kg, diventa il primo satellite venusiano il 22 Ottobre 1975. Il modulo di discesa, di 1560 kg, entra nell'atmosfera lo stesso giorno e una capsula di 660 kg trasmette dati dalla superficie per 53 minuti, tra cui la prima immagine panoramica in bianco e nero.
- 28 Sonda, del tipo 4V, di 5033 kg (inclusi 1159 kg di propellente). La sezione orbitale, di 2314 kg, diventa il secondo satellite venusiano il 25 Ottobre 1975, mentre una capsula di 660 kg

- trasmette dati dalla superficie per 65 minuti, inclusa una panoramica in bianco e nero del sito di atterraggio.
- 29 Sonda di 553 kg al lancio. Il 4 Dicembre 1978 diventa il terzo satellite di Venere (368 kg), per studiare l'atmosfera e ottenere una mappa globale della superficie con un radar-altimetro. Cessa di funzionare il 9 Ottobre 1992, disintegrandosi nell'atmosfera di Venere, dopo aver raccolto una mole di dati imponente.
- 30 Veicolo spaziale multiplo di 875 kg al lancio. Comprende una sonda atmosferica di 317 kg, tre sonde atmosferiche di 93 kg ciascuna e un bus per lo studio dell'atmosfera sopra i 120 km. Tutte e cinque le sonde si tuffano nell'atmosfera di Venere il 9 Dicembre 1978. Il bus trasmette, come previsto, dati sull'alta atmosfera prima di disintegrarsi, mentre le altre 4 sonde compiono misure durante la contemporanea discesa verso la superficie. Nonostante non siano state progettate per resistere all'impatto, due sonde piccole continuano a trasmettere dalla superficie, una per soli 2 secondi, l'altra per 67 minuti e mezzo.
- 31 Sonda, del tipo 4V, di 4450 kg al lancio, con un modulo di discesa di 1600 kg. Il 25 Dicembre 1978 la capsula di atterraggio raggiunge la superficie, da dove trasmette per 95 minuti. La mancata espulsione del copri-obiettivo, fuso dal calore, impedisce la trasmissione delle prime immagini a colori del suolo.
- 32 Sonda, del tipo 4V, di 4461 kg al lancio, con un modulo di discesa di 1612 kg. Il 21 Dicembre 1978 la capsula di atterraggio raggiunge la superficie, da dove trasmette per 110 minuti. La mancata espulsione del copri-obiettivo, fuso dal calore, impedisce la trasmissione delle prime immagini a colori del suolo.
- 33 Sonda, del tipo 4V1M, di 4363 kg al lancio, con un modulo di discesa di 1645 kg. Il 1 Marzo 1982, la capsula di atterraggio, di 760 kg, raggiunge la superficie, da dove trasmette per 127 minuti le prime immagini panoramiche a colori e le prime analisi mineralogiche di un campione di suolo.
- 34 Sonda, del tipo 4V1M, di 4364 kg al lancio, con un modulo di discesa di 1645 kg. Il 5 Marzo 1982, la capsula di atterraggio, di 760 kg, raggiunge la superficie, da dove trasmette per 57 minuti immagini panoramiche a colori e analisi mineralogiche di un campione di suolo.
- 35 Sonda, del tipo 4V2, di 5250 kg al lancio. Entrata in orbita il 10 Ottobre 1983, ottiene immagini radar dell'emisfero boreale di Venere, oltre i 30 gradi di latitudine Nord, con una risoluzione di 2 km.
- 36 Sonda, del tipo 4V2, di 5300 kg al lancio. Entrata in orbita il 14 Ottobre 1983, ottiene immagini radar dell'emisfero boreale di Venere, oltre i 30 gradi di latitudine Nord, con una risoluzione di 2 km.
- 37 Sonda del tipo 5VK (4920 kg al lancio), destinata all'esplorazione combinata di Venere e della cometa di Halley. Mentre il veicolo principale prosegue la sua corsa per incontrare la cometa (6 Marzo 1986), il modulo di discesa di 1500 kg penetra nell'atmosfera di Venere l'11 Giugno 1985, liberando un pallone aerostatico di 115 kg, che trasmette misure per 46,5 ore, percorrendo 11.600 km. La capsula di atterraggio trasmette dati dalla superficie per 56 minuti, ma non riesce il prelievo di un campione di suolo da analizzare.
- 38 Sonda del tipo 5VK (4920 kg al lancio), destinata all'esplorazione combinata di Venere e della cometa di Halley. Mentre il veicolo principale prosegue la sua corsa per incontrare la cometa (9 Marzo 1986), il modulo di discesa di 1500 kg penetra nell'atmosfera di Venere il 15 Giugno 1985, liberando un pallone aerostatico di 115 kg, che trasmette misure per 46,5 ore, percorrendo 11.100 km. La capsula di atterraggio trasmette dati

- dalla superficie per 57 minuti e completa l'analisi mineralogica di un campione di suolo.
- 39 Sonda di 3349 kg al lancio (1152 kg in orbita attorno a Venere). Orbitando attorno a Venere dal 10 Agosto 1990 al 13 Ottobre 1994, ottiene immagini radar ad alta risoluzione (100 metri) di quasi tutto il pianeta. Dopo aver utilizzato per la prima volta la resistenza dell'alta atmosfera per circularizzare l'orbita, consente di mappare su scala globale le anomalie gravitazionali con una definizione mai ottenuta prima.
- 40 Sonda di 2561 kg, destinata allo studio del sistema di Giove. Il 10 Febbraio 1990 sorvola Venere alla distanza di 16000 km, trasmettendo immagini (anche nell'infrarosso e nell'ultravioletto) e altri dati. E' la prima sonda a sfruttare una delle finestre nel vicino infrarosso, scoperte nel 1984, per osservare direttamente la bassa atmosfera del pianeta.
- 41 Sonda di 5655 kg (inclusi 3132 kg di propellente), destinata allo studio del sistema di Saturno. Effettua due sorvoli di Venere (26 Aprile 1998, 24 Giugno 1999) e uno della Terra (18 Agosto 1999) per guadagnare la velocità necessaria alla sua missione, risparmiando così 68.040 kg di propellente. Durante i sorvoli di Venere vengono effettuate alcune osservazioni scientifiche dell'atmosfera e si verifica il funzionamento del radar.
-

**LOCALITA' DI ATTERRAGGIO DELLE SONDE CHE HANNO
TRASMESSO DATI DALLA SUPERFICIE DI VENERE**

Nome della Sonda	Lat. (gradi)	Long. (gradi)	Durata della Trasmissione dal Suolo
Venera 7	5 S	351 E	23 min
Venera 8	10 S	335 E	50 min
Venera 9	32 N	291 E	53 min
Venera 10	16 N	291 E	65 min
Pioneer Venus 2 Large Probe	4 N	304 E	0 *
Pioneer Venus 2 North Probe	59 N	5 E	0 *
Pioneer Venus 2 Day Probe	31 S	317 E	68 min
Pioneer Venus 2 Night Probe	29 S	57 E	2 sec
Venera 11	14 S	299 E	95 min
Venera 12	7 S	294 E	110 min
Venera 13	8 S	303 E	127 min
Venera 14	13 S	310 E	57 min
Vega 1	7 N	178 E	56 min
Vega 2	6 S	181 E	57 min

* I moduli di discesa del *Pioneer Venus 2* erano progettati per trasmettere dati fino all'impatto con la superficie di Venere. Tuttavia, due capsule (*Night* e *Day Probe*) sono sopravvissute all'urto, continuando la trasmissione dal suolo. Fino ad oggi solo l'ex Unione Sovietica ha tentato l'atterraggio morbido su Venere (20 veicoli spaziali lanciati allo scopo), riuscendo nell'impresa 10 volte su 13 tentativi effettivi (7 sonde sono state perse prima di arrivare su Venere).
