

Albino Carbognani

L'elongazione Est di Venere nel 2007

Sezione Pianeti - UAI - Programma Venere - pianeti@uai.it

Abstract

After a brief introduction to the appearance of Venus atmosphere in UV and IR, the observations of evening elongation of Venus, visual and CCD, collected by the UAI Planet Section during the year 2007 are analysed. The collected CCD images in UV and IR are of good quality and it is possible to construct some Venus planisphere and measure the drift velocity of the clouds in function of the latitude. The drift velocity curves (in IR and UV) and the rotation periods are in good agreement with the expected value of 4 days but the equatorial period in UV appear more long. The values of phase anomaly in the blue/UV band, visual and CCD, are similar and higher of the value in the yellow band (visual), behaviour consistent with the theory of photochemical atmospheric step.

Il 27 ottobre 2006 alle 17h 14m UT, Venere era in congiunzione superiore con il Sole. Spostandosi lungo la propria orbita il pianeta si è portato alla massima elongazione Est di 45.4° il 9 giugno 2007 alle 03h 57m UT (diventando ben visibile ad Ovest, dopo il tramonto del Sole), mentre la nuova congiunzione con il Sole (questa volta inferiore), si è verificata il 18 agosto 2007 alle 03h 32m UT. In quest'articolo sono esposti i risultati delle osservazioni dell'elongazione est (o serale) di Venere, effettuate dagli osservatori aderenti al Programma Venere della Sezione Pianeti dell'UAI. Considerato che la stragrande maggioranza delle osservazioni cade nella regione violetta dello spettro visibile, prima di esporre i risultati vediamo brevemente come si presenta l'atmosfera di Venere nell'UV.

Le nubi di Venere nell'UV

Nella banda ottica Venere appare come una sfera biancastra praticamente priva di dettagli. Per questo motivo la misura del periodo di rotazione del pianeta ha richiesto molto tempo. Per fortuna lo strato superiore di nubi che circondano Venere mostra dei dettagli se è osservato nel violetto o –meglio– nell'UV vicino. Queste strutture furono scoperte a Monte Wilson nel giugno-luglio 1927 da Frank Ross [1], pioniere della fotografia planetaria attraverso filtri monocromatici. Per le sue osservazioni Ross usò riflettori da 150 e 250 cm d'apertura. Le strutture nelle nubi riprese da Ross erano ben visibili nelle lastre riprese nell'UV fra 340 e

380 nm (1 nm = 10⁻⁹ m), meno contrastate (ma comunque visibili), anche nelle lastre riprese nel violetto fra 380 e 400 nm. Dallo studio delle immagini, Ross non riuscì ad individuare un periodo di rotazione ben preciso e stimò un valore di circa 30 giorni. La misura del periodo di rotazione delle nubi riuscì, nel 1957, ad un amatore francese: Charles Boyer [2, 3]. Boyer osservava dall'Africa equatoriale (Brazzaville, 4° di latitudine sud) con un riflettore Newton da 26 cm di diametro (primario Texereau). Come per tutti i siti prossimi all'equatore, da Brazzaville i pianeti possono raggiungere ottime altezze sull'orizzonte, inoltre il luogo era caratterizzato da una bassa turbolenza atmosferica (un buon *seeing* si direbbe oggi). Come filtro Boyer usò un Wratten n. 34, in grado di trasmettere la radiazione al di sotto dei 450 nm. Dalle immagini riprese su pellicola, Boyer dedusse un periodo di rotazione di 4 giorni. La scoperta di Boyer fu accettata lentamente, anche perché nessuno riusciva a riprodurre il suo risultato. Inoltre, nel 1962, le osservazioni radio mostrarono che il corpo solido di Venere ruota in 243 giorni, un valore 60 volte superiore a quello trovato da Boyer. Come poteva l'atmosfera superiore di Venere ruotare 60 volte più velocemente della superficie? La conferma si ebbe solo nel 1974, quando le riprese UV del *Mariner 10* confermarono il periodo di 4 giorni ottenuto da Boyer.

Non è ben chiaro a cosa sia dovuto il forte divario fra il periodo di rotazione del corpo solido e quello delle nubi esterne del pianeta (super-rotazione). Quello che normalmente ci si aspetta è che l'atmosfera ruoti solidale con la superficie. Se l'atmosfera ha una rotazione più veloce chi fornisce il momento angolare in eccesso? Questo è un interrogativo ancora senza risposta.

Di solito, la velocità delle nubi varia con la latitudine ma ci sono periodi in cui la rotazione è come quella di un corpo solido: in questo caso la velocità angolare non dipende dalla latitudine. Ad esempio, alla fine del 1978 durante le missioni *Pioneer/Venus 1 e 2*, l'atmosfera ruotava come un solido, mentre nel febbraio 1974 (durante la missione *Mariner 10*), erano le regioni a media latitudine a ruotare più velocemente. Difficile capire quali possano essere le cause di questo cambiamento, se si considera che il

flusso di radiazione solare che giunge su Venere è praticamente costante (l'orbita ha un'eccentricità molto piccola) e non ci sono stagioni.

Le nubi scure nell'UV dell'atmosfera di Venere sono generalmente disposte parallele all'equatore, ma non sono a lunga durata: si formano e si dissolvono in continuazione. La formazione globale più frequente è quella a "Y" rovesciata (con i due bracci che partono dai poli per congiungersi verso l'equatore), ma si possono avere altre geometrie come la "ψ". Occasionalmente, gli osservatori visuali hanno segnalato un sistema di nubi radiali, meglio visibile nel rosso, che si diparte dal punto subsolare di Venere (ma manca una documentazione fotografica). Le nubi a grande scala, comprese fra ±45° di latitudine, hanno una vita media superiore ai 4 giorni e si muovono a velocità confrontabili con quelle equatoriali. Le nubi più piccole hanno una durata minore, con vite medie comprese fra 1.5 e 4 giorni.

Il contrasto delle nubi oscure nell'UV con le nubi chiare circostanti è circa 0.2. Il contrasto aumenta leggermente al diminuire dell'angolo di fase e diminuisce a mano a mano che ci si sposta dai 350 ai 450 nm di lunghezza d'onda. Le ricerche sulla natura del composto (o dei composti), in grado di assorbire l'UV su Venere indicano che potrebbe trattarsi d'anidride solforosa (SO₂) più altre specie molecolari non ancora ben identificate.

Se si passa dall'UV all'IR l'immagine tende a diventare la negativa della precedente: le nubi scure diventano chiare e viceversa. I dettagli nell'IR però hanno un contrasto inferiore a quelli nell'UV. Questo fenomeno d'inversione è stato scoperto da C. Capen negli anni '60 del secolo scorso. Probabilmente, questo comportamento è dovuto al fatto che il materiale che assorbe l'UV si trova ad una quota più bassa rispetto allo strato di nubi esterne. Passando dall'UV all'IR le nubi più basse sono quelle a temperatura maggiore e quindi sono più luminose dello strato esterno. Si spiega così l'inversione d'intensità.

Osservazioni visuali e CCD di Venere

L'elongazione serale 2007 di Venere è stata seguita da un discreto numero d'osservatori che, per la maggior parte, hanno seguito il pianeta usando *webcam*, videocamere e camere CCD abbinata a filtri per l'osservazione nell'UV e nell'IR



(vedi tabella 1). Nel complesso sono state effettuate 133 osservazioni del pianeta. Le osservazioni CCD coprono il periodo che va dal 2 febbraio 2007 (la prima osservazione è di Gasparri), al 17 agosto 2007 (le ultime osservazioni sono di Sbaruffatti e de Manzano, con Venere ridotta ad una falce sottile nel cielo diurno). In quest'articolo non è possibile pubblicare tutte le immagini raccolte ma il campione mostrato è rappresentativo.

I risultati ottenuti sono molto interessanti. Non solo sono state riprese le tipiche nubi di Venere in una gran varietà d'aspetti, ma la copertura in certe settimane è stata sufficientemente estesa da permettere la costruzione di planisferi dell'atmosfera del pianeta (vedi più avanti). E' stato così possibile seguire la variazione nel tempo della forma delle nubi. Spesso sono state riprese, da parte dello stesso osservatore, diverse immagini a distanza di 1-2 ore l'una dall'altra, sufficienti per mettere in evidenza lo spostamento dei dettagli sul disco del pianeta. Grazie a queste coppie d'immagini è stato possibile ricostruire, anche se parzialmente, la curva di velocità dell'atmosfera in funzione della latitudine, sia nell'UV che nell'IR e stimare i periodi di rotazione atmosferici. Naturalmente, immagini contemporanee riprese da osservatori diversi mostrano le stesse strutture. Numerose anche le osservazioni visuali, ben 43, provenienti tutte da un unico osservatore (Adamoli), che ha seguito il pianeta dal 30 novembre 2006 al 25 giugno 2007. Adamoli ha osservato tramite un filtro blu W44A, con ingrandimenti variabili fra 150 X e 170 X. Naturalmente, nel visuale i dettagli sono stati minori ma è interessante vedere come ci sia una certa convergenza di dettagli fra il CCD e l'occhio allenato all'osservazione telescopica. Questa convergenza è particolarmente evidente fra i disegni di Adamoli e le immagini del 10 e 14 aprile 2007, rispettivamente di Gasparri e Cardin. Nei disegni non solo è visibile una piccola nube luminosa nell'emisfero sud, ma anche il profilo generale delle nubi scure è molto simile a quello delle immagini CCD nell'UV. Una somiglianza analoga si ha anche con l'immagine di Lazzarotti del 19 aprile, Cardin del 29 aprile, ancora Lazzarotti del 10 maggio, Gasparri del 13 e 20 maggio e così via. Tutto questo dimostra che, pur non potendo essere dettagliate come quelle CCD, le osservazioni visuali permettono di seguire l'evoluzione generale delle nubi di Venere e sono un utile supporto in mancanza di osservazione digitale.

A partire dal 30 maggio, complice la fase in via di riduzione e una progressiva diminuzione sull'orizzonte, le nubi di Venere si sono rese praticamente invisibili,

pur rimanendo un'ombreggiatura prossima al terminatore. Per maggiori dettagli sulle tecniche di osservazione visuale e CCD si può vedere [4, 5]. Si vedano le figure 1- 9, più sotto.

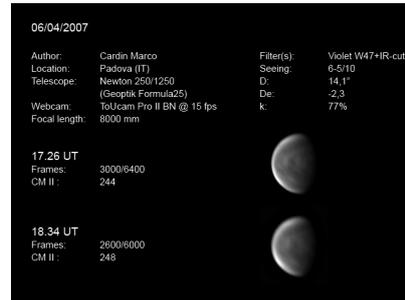


Figura 1. Venere nell'UV ripresa il 6 aprile 2007 da Cardin. Ben visibili le nubi sul disco. Sud in alto, bordo p a destra.



Figura 2. Venere nell'UV ripresa il 10 aprile 2007 da Gasparri. Notare la nube luminosa nell'emisfero sud, prossima al bordo. Nord in alto, bordo p a sinistra.



Figura 3. Venere in luce bianca ripresa dai Mazzotti l'11 aprile 2007. Come si può vedere, senza filtri il disco di Venere si presenta privo di dettagli di rilievo. Sud in alto, bordo p a destra.



Figura 4. Venere nell'UV ripresa il 14 aprile 2007 da Cardin. Ben visibili le nubi scure parallele all'equatore e il collare polare sud. Sud in alto, bordo p a destra.

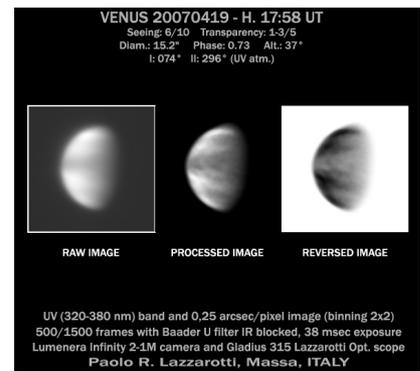


Figura 5. Un'ottima ripresa di Venere nell'UV eseguita da Lazzarotti il 19 aprile 2007. Il contrasto delle nubi è notevole e anche il microdettaglio. Sud in alto, bordo p a destra.

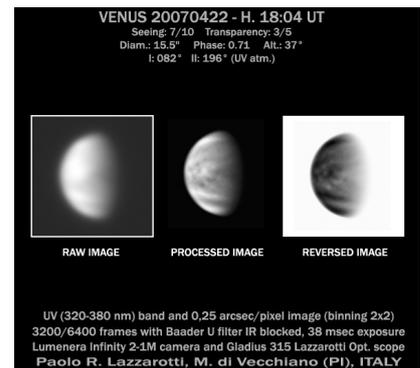


Figura 6. Ripresa di Venere nell'UV di Lazzarotti del 22 aprile 2007. Notare le piccole nubi chiare e scure a cavallo delle latitudini equatoriali e i collari polari più chiari. Sud in alto, bordo p a destra.



Figura 7. Ripresa di Venere in UV da parte di Gasparri fatta il 10 maggio 2007. Notare le nubi equatoriali a piccola scala. Sud in alto, bordo p a destra.



Figura 8. Ripresa di Venere in UV fatta da Mancini il 13 giugno 2007, quando la fase del pianeta era al di sotto del 50%. Visibile il collare polare Sud. Sud in alto, bordo p a destra.

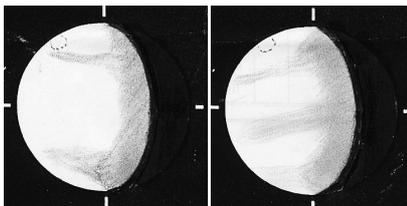


Figura 9. Disegni di Venere eseguita da Adamoli il 10 (a sinistra) e il 14 (a destra) aprile 2007. Il Sud è in alto. Si confronti questi disegni con le corrispondenti immagini di Gasparri e Cardin: la rassomiglianza è evidente. Sud in alto, bordo p a destra.

Le mappe rotazionali dell'atmosfera di Venere nell'UV

Come ho già detto, le immagini riprese tramite sensori CCD mostrano nubi abbastanza contrastate da mettere in evidenza la rotazione dell'atmosfera ed utilizzandole insieme è stato possibile ricavare 6 mappe rotazionali complete - o quasi - del pianeta. Le mappe coprono bene tutto il mese di aprile 2007. In questo periodo Venere mostrava un diametro apparente di 15", una fase di 0.74 e la distanza angolare dal Sole era di circa 40°. In queste condizioni era possibile riprendere immagini con il Sole a una ventina di gradi sopra l'orizzonte, ma con il pianeta ad oltre 50° d'altezza, minimizzando così la turbolenza atmosferica. L'elevato valore della fase ha permesso inoltre di costruire delle mappe complete con soli 3-4 giorni di osservazioni consecutive.

Per la creazione delle mappe è stato usato il software WinJupos di Grisch Hahn [6]. In breve, con il tool di WinJupos dedicato alla cartografia planetaria, si può caricare in memoria un'immagine, calibrarla con data, ora e orientamento e poi selezionare la parte centrale del disco ($\pm 50^\circ$ dal meridiano centrale), per proiettarla su una superficie piana. Unendo diverse immagini trattate in questo modo (più sono e meglio è), si ottiene la mappa atmosferica finale. La proiezione utilizzata per tutte le mappe è di tipo cilindrico e mostra le latitudini planetocentriche comprese fra -60° e $+60^\circ$ (il polo sud è in alto).

La cosa importante da tenere presente per la fusione delle immagini, è che si deve considerare il periodo reale di rotazione dell'atmosfera venusiana (4 giorni) e non quello di rotazione della parte solida di Venere (243 giorni). Inoltre, il periodo di ripresa delle immagini per la costruzione della mappa, deve essere il più breve possibile (compatibilmente con le condizioni atmosferiche e di seeing), perché le nubi tendono a cambiare forma abbastanza rapidamente.

Nelle mappe ottenute la fusione fra un'immagine e l'altra non è perfetta perché è stata utilizzata la maggior parte possibile

Osservatori e strumenti dell'elongazione serale di Venere 2007				
Osservatore	Località	Strumento	n°	Tipo di osservazione, sensori e filtri
Gianluigi Adamoli	Verona (Italy)	MAK-CASS 125 mm, f/12	43	Visuale, 150-170x. Filtro: W44A
Albino Carbognani	Mediano (Parma, Italy)	OG 150 mm a f/24	1	Videocamera DMK 21AF04.AS Filtri: IRCut+W23A
Marco Cardin	Padova (Italy)	NEW 250 mm a f/32	25	Webcam ToUcam Pro b/n Filtro W47 + IRCut
Roberto de Manzano	Milano (Italy)	NEW 100 mm	1	Camera digitale con sistema afocale
Daniele Gasparri	Perugia (Italy)	SC 235 mm a f/30	26	Webcam ToUcam Pro II CCD ST-7XME Filtri: Baader UV + Schott BG38 W47 + Schott BG38 IR a 1 micron
Paolo Lazzarotti	Massa (Italy)	Riflettore Gladius 315 mm	11	Videocamera Lumenera 2-1 M Filtro: UV (320-380 nm)
Riccardo Mancini	Cerreto Guidi, Firenze (Italy)	NEW 200 mm a f/25	6	Webcam ToUcam Pro b/n Filtro: Hoia UV pass + IRCut
Enrico Mariani		OG 102 mm a f/29.4	2	Visuale 300x/webcam ToUcam Pro II Filtri: GG495/IRCut+BG25
Cristina e Fiorenzo Mazzotti	San Romualdo, Ravenna (Italy)	SC da 300 mm	1	Videocamera Lumenera L075C b/n. Luce integrale.
Antonello Medugno	Capua (Italy)	SC da 350 mm, f/10	2	Videocamera DMK 21AF04.AS Filtri: Uvpass (Baader) e R (Astronomik)
Riccardo Di Nasso	Pisa (Italy)	SC da 235 mm a f/30	1	Webcam ToUcam Pro III Filtro: UV pass (Baader)
Tiziano Olivetti	Bangkok (Thailandia)	NEW 275 mm a f/33	2	Videocamera Lumenera L075M Filtri: BG12 + IRCut, IR
Gerardo Sbarufatti	Caselle Landi (Lodi, Italy)	SC da 203 mm a f/10	1	Webcam Vesta Pro Filtro: rosso
Luigi Testa	Parma (Italy)	AOG 155 mm a f/35.5	12	Videocamera Lumenera L075M Filtri: IR-Cut

Tabella 1. Osservatori, località, strumenti, numero e tipo d'osservazioni per l'elongazione serale di Venere del 2007. OG = rifrattore acromatico; AOG = rifrattore apocromatico; NEW = Newton; SC = Schmidt-Cassegrain; MAK-CASS = Maksutov-Cassegrain.

delle longitudini mostrate dal disco, ereditando le deformazioni tipiche dei bordi. Utilizzando un numero maggiore di immagini questo problema tende a sparire perché si usa solo la parte centrale del disco. Ora analizziamo brevemente le 6 mappe rotazionali ottenute per il mese di aprile 2007 (figure 10-15).

La mappa n.1 è stata ottenuta dalle immagini di Cardin e Gasparri (ottenute con gli stessi filtri, quindi paragonabili). Il raccordo fra le immagini è buono, specialmente fra 60° e 240° di longitudine. Attorno ai 180° sono visibili nubi dalla tipica forma a "ψ" rovesciata.

Anche la mappa n.2 è stata ottenuta con le osservazioni di Cardin e Gasparri. La struttura più inconsueta si trova a 330° di longitudine, è la nube a forma di "C". Dalla mappa si vede che la zona circolare scura al centro della "C" è il proseguimento di una serie di nubi abbastanza contrastate poste fra 0° e 60° di longitudine, quindi non ci sono dubbi sulla sua realtà fisica. La struttura a "C" invece non sembra sia la parte avanzante di una "Y" e appare piuttosto isolata dal contesto delle altre nubi. Infine, a 210° di longitudine si trova invece una nube scura da cui si diparte una specie di struttura radia-

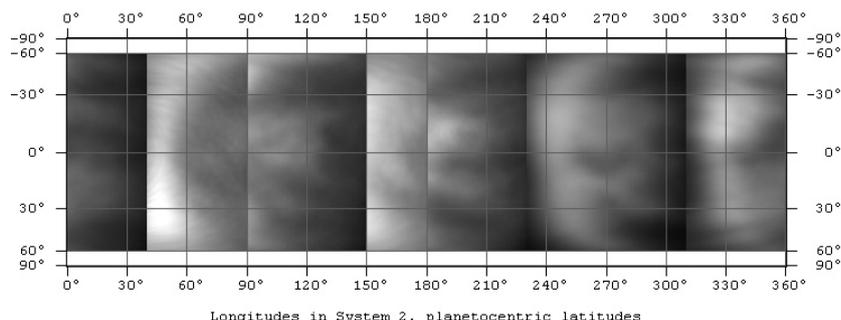


Figura 10. Mappa in UV di Venere n.1, periodo 5-10 aprile 2007.

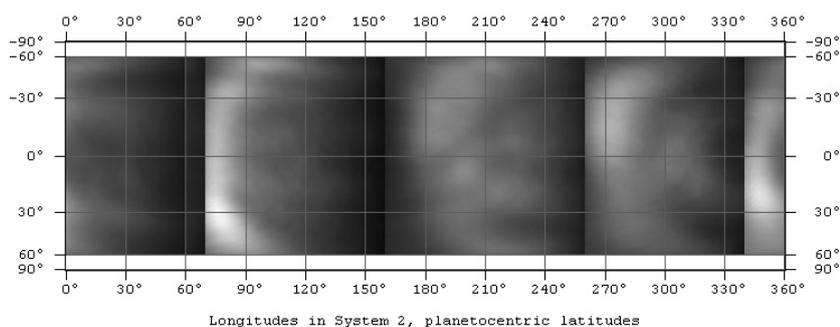


Figura 11. Mappa in UV di Venere n.2, periodo 14-17 aprile 2007.

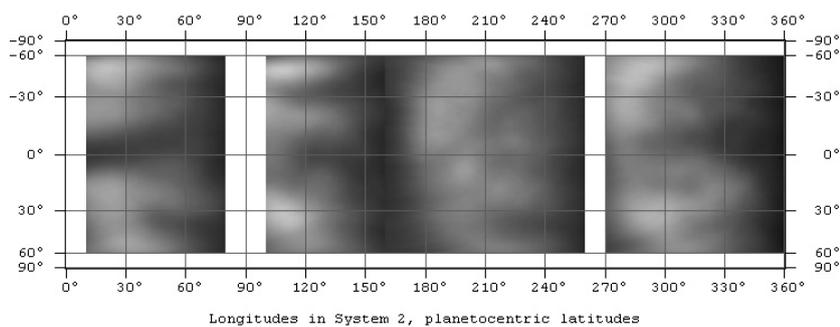


Figura 12. Mappa in UV di Venere n.3, periodo 17-20 aprile 2007.

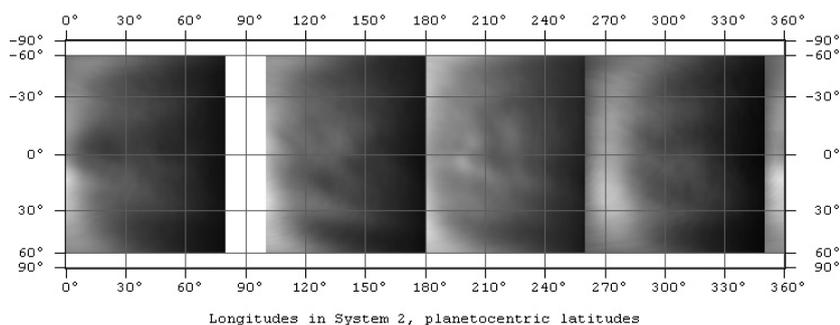


Figura 13. Mappa in UV di Venere n.4, periodo 17-22 aprile 2007.

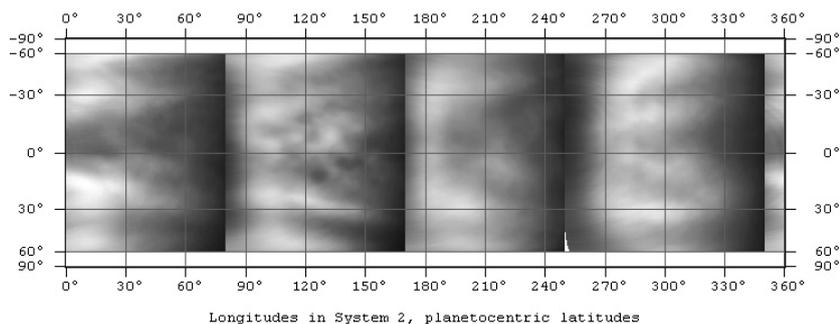


Figura 14. Mappa in UV di Venere n.5, periodo 19-22 aprile 2007.

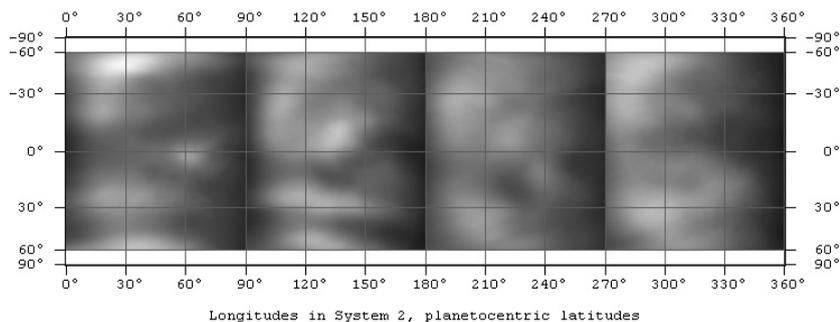


Figura 15. Mappa in UV di Venere n.6, periodo 20-23 aprile 2007.

le che non era presente nella mappa del 5-10 aprile.

La mappa rotazionale di Venere n. 3 è stata ottenuta con le osservazioni del 17, 18, 19 e 20 aprile di Gasparri. Notare come l'immagine del 17 (alla longitudine di 210°) si raccordi perfettamente con quella del 20 (alla longitudine di 300°), dove nella ripresa del 16 (vedi mappa n.2) compariva la formazione a "C" (probabilmente un effetto di bordo). Molto intensa la nube equatoriale a 30° di longitudine.

La mappa n.4 è stata ricavata dalle osservazioni di Cardin del 17-22 aprile. I dettagli a grande scala sono paragonabili a quelle delle mappe precedenti. In particolare, la regione fra 120° e 150° mostra le stesse nubi scure visibili nell'analoga mappa di Lazzarotti (mappa n.5) del 19-22 aprile.

La mappa n.5 è stata fatta con le osservazioni di Lazzarotti del 19-22 aprile. La nitidezza è ottima e i dettagli sono ben risolti. Fra 0° e 150° di longitudine si vede bene la forma a "Y" delle nubi, mentre attorno ai 120° si notano una serie di piccole nubi scure, ideali per la misura della velocità di rotazione per via dell'alto contrasto e localizzazione spaziale. Fra i 270° e i 300° si trova le ex "C" dei giorni scorsi. La rassomiglianza con la mappa del 20-23 aprile (mappa n.6) ottenuta con le osservazioni di Gasparri è ottima, i dettagli ripresi sono praticamente gli stessi.

L'ultima mappa in UV di Venere (mappa n.6) è stata costruita con le ottime osservazioni del 20-23 aprile di Gasparri. La mappa è completa. La formazione a "ψ" alla longitudine di 300° è comune con la mappa n. 3 del 17-20 aprile perché l'osservazione del 20 è la stessa. Alle altre longitudini si notano dei cambiamenti. Ad esempio il centro della nube radiale del 17-20 posto a 210°, si è portato a 240° ed è comparsa una nube scura a 220° spostata verso nord. Una nube a "S" che il 17-20 aprile era a 120°, ora si trova a 150° con forma immutata. La nube chiara a 60° invece è di nuova formazione ed è circondata da un complesso di nubi molto intense che tende ad assumere la tipica forma a "Y".

Come si può vedere da questa sequenza di mappe, le nubi dell'atmosfera di Venere non sono statiche e il loro aspetto può cambiare in capo a pochi giorni. Per questo motivo una mappa rotazionale richiede una sequenza di osservazioni ravvicinate, in caso contrario, fra una ripresa e l'altra, mancherà la continuità fra le nubi.

La curva di rotazione atmosferica nell'UV e nell'IR

La ripresa di immagini di buona qualità nell'UV permette di costruire la cur-

va della velocità atmosferica del pianeta in funzione della latitudine. Infatti, se si riprendono 2 o più immagini a distanza di circa 1 ora l'uno dall'altra (prima che Venere tramonti), dalla misura degli spostamenti dei dettagli più contrastati si può risalire agevolmente alla velocità di spostamento.

Per la misura della posizione dei dettagli si può usare Winjupos, lo stesso software usato per le mappe. Misurando la posizione dei dettagli sulle due immagini successive e mantenendo l'ora di ripresa della prima immagine anche per la seconda (così la griglia di riferimento è fissata e ruota solo lo strato di nubi), si trova la distanza percorsa dal dettaglio nell'intervallo di tempo fra le due riprese. Naturalmente, va tenuto presente che la distanza lineare percorsa dipende anche dalla latitudine, perché l'arco del grado di latitudine diminuisce all'aumentare della latitudine. Se R è il raggio equatoriale di Venere all'altezza delle nubi, φ è la latitudine del dettaglio e λ_1, λ_2 sono le longitudini misurate in due momenti successivi (mantenendo fissa la griglia di riferimento), la distanza lineare percorsa è data da:

$$l = \frac{2\pi \cdot R \cdot \cos(\varphi)}{360} (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (1)$$

Una volta nota la distanza percorsa, la velocità lineare del dettaglio è data semplicemente dalla distanza diviso il tempo t trascorso fra le due immagini:

$$v = \frac{l}{t} \quad (2)$$

La (1) e la (2) sono le formule utilizzate per la costruzione delle curve rotazionali dell'atmosfera di Venere sia in UV sia in IR. Applicando le regole della propagazione degli errori alla (1) e tenendo presente che solo φ e λ hanno sono soggette alle incertezze della misura, si trova che l'incertezza relativa su l è data da:

$$\frac{dl}{l} = \sqrt{\tan^2(\varphi)(d\varphi)^2 + \frac{(d\lambda)^2}{(\lambda_2 - \lambda_1)^2}} \quad (3)$$

Nella (3) $d\lambda$ è la somma delle incertezze sulle due longitudini λ_1 e λ_2 . Infine, l'incertezza relativa sulla velocità sarà (qui si trascura l'incertezza su t):

$$\frac{dv}{v} = \frac{dl}{l} \quad (4)$$

Ora non resta che stimare dv/v assumendo valori ragionevoli per le incertezze di misura. Per la misura delle velocità sono state usate coppie di immagini di Gasparri e Lazzarotti riprese il 10 e 13 maggio 2007, particolarmente adatte perché mostrano dettagli piccoli e ben contrastati, ideali da utilizzare come traccianti. Dalle immagini, considerando che il diametro apparente di Venere nei giorni delle riprese era di $18''$, si può stimare una scala di $0.15''$ per pixel. Sulle misure di posizione l'incertezza è di almeno ± 1 pixel, quindi di $\pm 0.15''$. Se si tiene conto che la distanza Terra-Venere era di 0.9435 UA l'incertezza lineare è di ± 103 km. Considerato che, per le latitudini misurate, la lunghezza media del grado di longitudine è di 91 km, l'incertezza sulla longitudine è di $103/91 \approx 1.1^\circ$. Sulla latitudine φ si può assumere un'incertezza di $\pm 2^\circ$, perché è difficile posizionarsi esattamente alla stessa latitudine del dettaglio. Tenendo presente tutto questo e prendendo $\varphi \approx 10^\circ, d\varphi \approx 2^\circ, \lambda_2 - \lambda_1 \approx 5^\circ$ e $d\lambda \approx 2^\circ$ si trova che nella (3) è il secondo addendo sotto radice il termine dominante rispetto al primo. Eseguendo i calcoli si trova $dl/l \approx 0.4$. Quindi l'incertezza sulle velocità lineari è dell'ordine del 40%. Come si vede si tratta di misure delicate, fatte su un disco planetario abbastanza piccolo, da cui deriva un valore elevato dell'incertezza della misura. Per ridurre l'incertezza è necessario aumentare la differenza fra le due longitudini cui si osserva il dettaglio, ma questo valore non può crescere molto oltre i tipici 5° perché il pianeta riduce la sua altezza sull'orizzonte, il seeing peggiora e il tracciante atmosferico diventa molto più difficile da riprendere (figure 16-17).

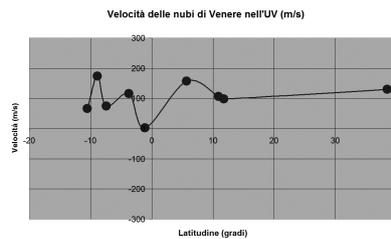


Figura 16. Curva di velocità dell'atmosfera di Venere nell'UV costruita a partire dalle immagini di Lazzarotti e Gasparri riprese il 10 e il 13 maggio 2007.

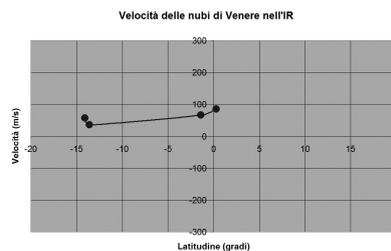


Figura 17. Curva di velocità dell'atmosfera di Venere nell'IR costruita a partire dalle immagini di Gasparri riprese il 13 maggio 2007.

Nell'UV le regioni equatoriali hanno la velocità più bassa, qualche metro al secondo (182 giorni per compiere una rotazione completa del pianeta!), mentre ci sono due massimi a 6° di latitudine nord (160 m/s) e a 9° di latitudine sud (170 m/s), vedi la Tabella 2. La rotazione non appare del tipo a "guscio rigido", ma dipende dalla latitudine ed è approssimativamente simmetrica rispetto alla zona equatoriale. Escludendo il lungo periodo di rotazione equatoriale, il valore medio del periodo di rotazione alle altre latitudini è di 4.1 giorni. Nell'IR i dati sono molto meno completi (vedi Tabella 3), comunque la velocità equatoriale appare più elevata rispetto all'UV (circa 86 m/s), mentre diminuisce a mano a mano che ci si sposta verso latitudini meridionali (l'emisfero settentrionale non è stato mappato). Alla latitudine di 13° Sud la velocità è dell'ordine dei 36 m/s. Nel complesso la velocità delle nubi nell'IR appare inferiore rispetto all'UV e il periodo di rotazione medio nell'IR è di 7.9 giorni. Considerato che nell'UV si osserva lo strato superiore delle nubi, mentre nell'IR si può andare in maggiore profondità, questo risultato appare ragionevole, perché al diminuire della quota di osservazione la velocità dei venti atmosferici si riduce.

Latitudine media ($^\circ$)	Lunghezza del grado di longitudine (km)	Velocità delle nubi nell'UV (m/s)	Periodo (giorni)
-10,5	104,9741	65,6	6,666
-8,9	105,4764	173,3	2,535
-7,4	105,8726	74,9	5,887
-3,7	106,5393	115,9	3,829
-1,1	106,7421	2,44	182,5
5,7	106,2339	157,6	2,807
10,9	104,8357	106,8	4,091
11,8	104,5056	97,8	4,451
38,5	83,55265	129,7	2,684

Tabella 2. Velocità delle nubi di Venere nell'UV a diverse latitudini.

Latitudine media ($^\circ$)	Lunghezza del grado di longitudine (km)	Velocità delle nubi nell'IR (m/s)	Periodo (giorni)
-14,1	103,5453	56,4	7,641
-13,6	103,7683	36,3	11,911
-1,4	106,7299	65,9	6,75
0,3	106,7603	85,7	5,192

Tabella 3. Velocità delle nubi di Venere nell'IR a diverse latitudini.

La fase di Venere e l'effetto Schröter

Nel 1793 J.H. Schröter scoprì quello che da allora viene chiamata anomalia di fase o "effetto Schröter": la fase di Venere, cioè la frazione di disco illuminato visibile da Terra, non coincide con il valore calcolato teoricamente. Dal punto di vista geometrico, la fase k dipende solo dall'angolo α Terra-Venere-Sole (detto appunto, angolo di fase) e quindi è una quantità perfettamente calcolabile:

$$k = \frac{1}{2} (1 + \cos(\alpha)) \quad (5)$$

Tuttavia, Schröter trovò che l'istante della dicotomia di Venere (cioè quando il disco è illuminato al 50%), era anticipato di 8 giorni nelle elongazioni serali e ritardato in quelle mattutine. Altri Autori, trovarono invece valori compresi fra 6 e 3 giorni.

Con i dati raccolti sull'elongazione Est del 2007, è stato possibile ricostruire la curva della fase di Venere e confrontarla con i valori teorici. Le stime di fase visuale (fatte da Adamoli con i filtri W44A e W15, rispettivamente, blu e giallo), sono state tenute distinte dal valore di fase ricavabile dalle immagini CCD nell'UV. Per stabilire la differenza temporale fra la dicotomia teorica e quella osservata sono stati interpolati, con il metodo dei minimi quadrati, i valori di fase osservati e attesi con polinomi di terzo e secondo grado (a seconda della copertura temporale della fase) e si è confrontato la differenza fra le due curve in corrispondenza della fase del 50%.

Nel caso delle osservazioni visuali il valore osservato è quello riportato sulla scheda di osservazione, mentre per la misura delle immagini CCD *raw* si è utilizzato il software "VenusPhase2" [7], sviluppato da Saverio Cammarata del Gruppo Astrofili Siciliani. Con questo software si possono misurare sia il diametro di Venere da un polo all'altro sia quello ortogonale lungo l'equatore: il rapporto fra queste due grandezze fornisce direttamente la fase osservata. Il software è in grado di mediare su più valori diversi misurati sulla stessa immagine e di salvare in un *file* di testo il giorno giuliano, la fase osservata e quella teorica per ogni immagine misurata. Successivamente, i dati possono essere elaborati con un semplice foglio di calcolo.

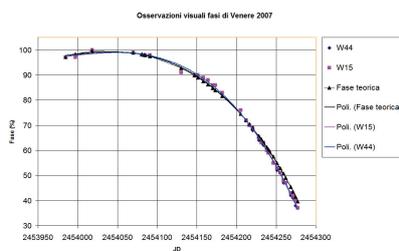


Figura 18. Confronto fra la fase visuale e la fase teorica ottenute dalle osservazioni di Adamoli. In ascissa si trova il giorno giuliano, in ordinata la percentuale della fase. Come si può vedere, per valori prossimi al 100% la fase osservata si sovrappone a quella teorica, mentre la divergenza aumenta a mano a mano che ci si avvicina alla dicotomia (50%). Le curve interpolanti sono polinomi di 3° grado.

Le misure sono state fatte sulle immagini *raw*, cioè non elaborate con l'*Unsharp Masking* (maschera sfuocata), per evitare che una parte del terminatore vada persa nell'elaborazione e la fase venga sottostimata. In questo tipo di misure la cosa più delicata è stabilire dove termina il disco del pianeta e dove inizia il fondo cielo. Come criterio operativo si è scelto di misurare i diametri a partire dai punti di intensità intermedia fra il disco ben illuminato e il fondo cielo dell'immagine. I risultati sono i seguenti. Alla dicotomia, le fasi stimate visualmente da Adamoli con il W 44A risultano in anticipo di 4.2 giorni sulla data teorica, mentre con il W15 l'anticipo si riduce a 3.2 giorni (figure 18-19).

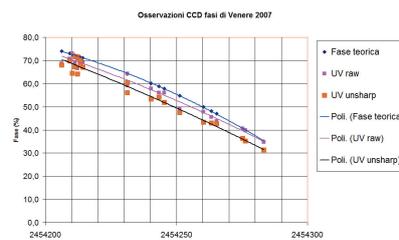


Figura 19. Curve di confronto fra le fasi misurate sulle immagini CCD nell'UV sia *raw* sia *unsharp* e la fase teorica. In ascissa si trova il giorno giuliano, in ordinata la percentuale della fase. Come si può vedere, la fase misurata dalle immagini elaborate mostra un difetto di fase più accentuato rispetto ai valori *raw*. Le curve interpolanti sono polinomi di 2° grado.

Nel caso delle immagini CCD *raw* riprese nell'UV l'anticipo è di 4.5 giorni, in ottimo accordo con il valore visuale nel blu ricavabile dalle osservazioni di Adamoli. Al contrario, se si usano le riprese nell'UV elaborate con l'*unsharp masking*, l'ano-

malia sale a ben 11 giorni, perché nell'elaborazione è molto facile che vada persa una parte del terminatore. Quindi le misure di fase vanno fatte solo sulle immagini *raw*, anche se meno definite di quelle elaborate.

La spiegazione più plausibile per l'anomalia di fase è la teoria del gradino atmosferico proposta da McCue e Nichol nel 1984 [8]. Al di sopra delle nubi illuminate dal Sole, in strati di aerosol dello spessore di qualche decina di chilometri, avvengono delle reazioni fotochimiche stimulate dalla radiazione UV solare che coinvolgono l'acido solforico e lo zolfo. Queste reazioni danno luogo ad uno strato di nubi fotochimiche che innalzano la quota delle nubi diurne al di sopra di quelle notturne. In questo modo viene proiettata un'ombra supplementare sul terminatore e la dicotomia anticipa nelle elongazioni serali e ritarda in quelle mattutine. Inoltre, la concentrazione di questi aerosol fluttua nel tempo e questo può rendere conto del valore variabile dell'anomalia di fase.

Ringraziamenti

Si ringrazia Matteo Soldi dell'Associazione Astrofili Thetis (Voghera) per il lungo lavoro di riduzione dei dati visuali e la misura delle fasi di Venere sulle immagini digitali con *VenusPhase2*.

Bibliografia

- [1] Ross F. E., *The Astronomical Journal*, **68**, 57-92 (1928)
- [2] Boyer C., Camichel H., *Ann. d'Astrophysique*, **24**, 531-535 (1961)
- [3] Boyer C., Newell R. E., *The Astronomical Journal*, **72**, 679-681 (1967)
- [4] Tanga P., Falorni M., *Osservare i pianeti*, Media Presse, Milano, 1994
- [5] Carbognani A., *Astronomia con la webcam*, Sirio srl., 2005
- [6] Home page di WinJupos: <http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de/astro/winjupos/>
- [7] Link per il download del software *VenusPhase2*: <http://www.astrofiliisiciliani.org/rubriche/Pianeti/Venere/VenusPhase2-setup.zip>
- [8] McCue J., Nichol J.R., *J. Br. Astron. Assoc.*, **94**, 104-108 (1984)