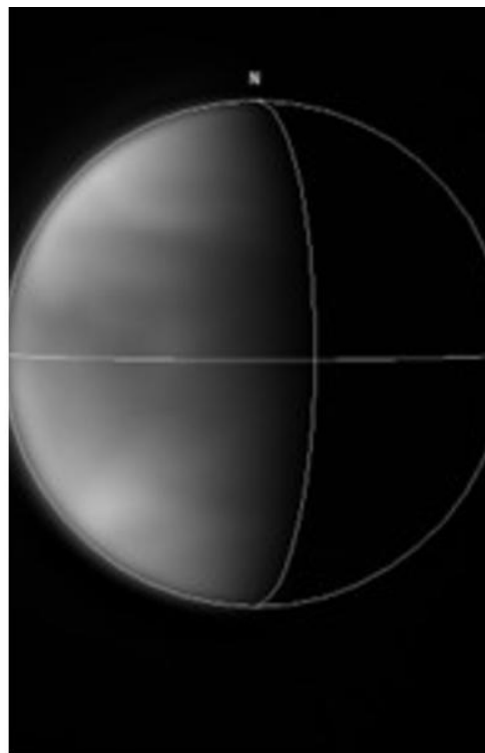
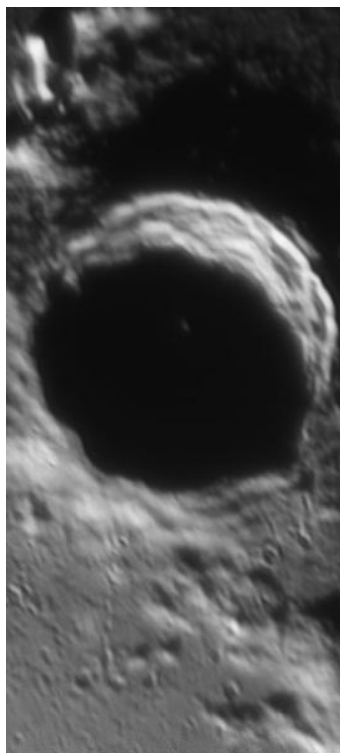


Vincenzo della Vecchia
Responsabile SNdR
Pianeti UAI
v.dellavecchia@uai.it

Misuriamo la superrotazione delle nubi di Venere

È noto da tempo che le nubi venusiane ruotano decine di volte più rapidamente del corpo solido (superrotazione), ma le cause di questo eccesso di momento angolare non sono ancora completamente comprese. Le nubi, opache nel visibile, nascondono la superficie del pianeta all'osservazione diretta e nemmeno mostrano dettagli apprezzabili al telescopio, ma mediante riprese digitali nella banda dell'ultravioletto anche gli astrofili -nel modo spiegato in questo articolo- possono determinare la loro velocità e compararla con i valori misurati dalle sonde.

Venere e la sua atmosfera

Venere, naturalmente dopo il Sole e la Luna, è l'astro più brillante del cielo, e l'unico oltre

ad essi in grado di proiettare deboli ma distinte ombre nelle giuste condizioni. Il pianeta, circa 15 volte più brillante di Sirio, deve la sua grande luminosità alla vicinanza alla Terra e soprattutto all'alta albedo della sua coltre nuvolosa (cioè alla sua grande capacità di riflettere la luce solare). Per l'esattezza, all'incirca il 76% dell'energia solare incidente viene riflessa nello spazio, più di due volte e mezza quella della Terra e ben dieci volte superiore a quella della Luna.

Benché sia risaputo da secoli che Venere possiede un'atmosfera, i dettagli osservabili al telescopio su quest'ultima sono molto elusivi, e il pianeta ha lungamente beffato gli osservatori con ogni sorta di illusioni ottiche. Nel XVIII secolo vi fu una accesa disputa che coinvolse due tra i più

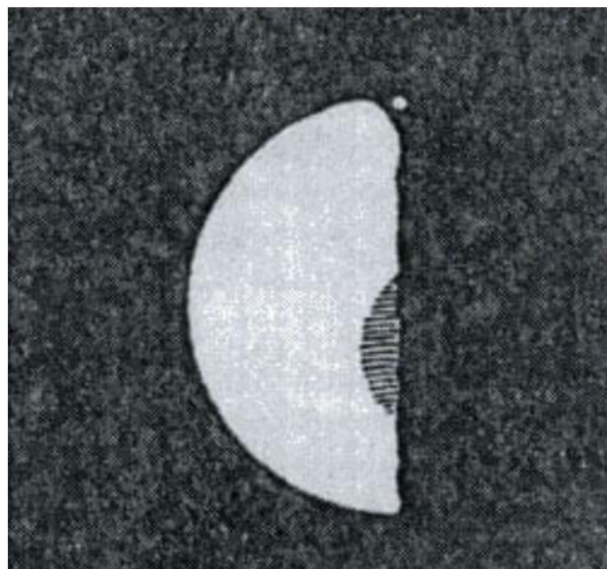
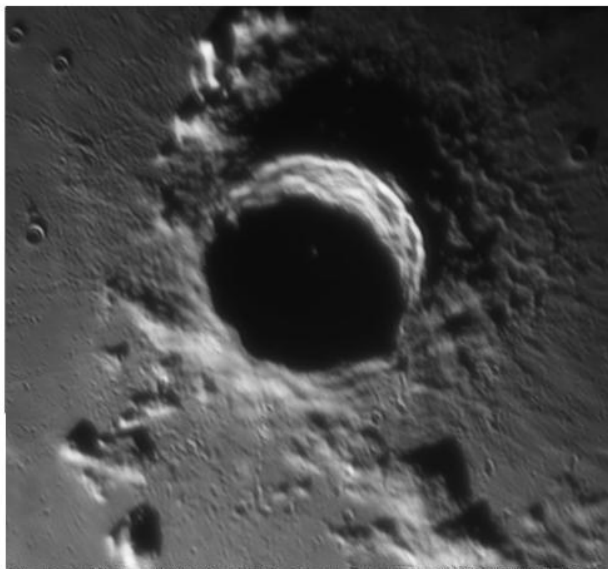


Figura 1. A sinistra, il cratere lunare Eratostene ripreso dall'autore con un Cassegrain da 30 cm mostra il picco centrale illuminato. Grazie alla sua elevazione, esso è in grado di intercettare i raggi solari al contrario della superficie circostante, più bassa, che resta in ombra. A destra, un disegno di Venere di Schröter in cui l'astronomo riporta un puntino luminoso nei pressi del polo Sud venusiano (in alto). Fu naturale, per lui, supporre che esso fosse causato da qualche enorme montagna presente sul pianeta. Quasi certamente, si tratta invece di una illusione ottica dovuta alla turbolenza atmosferica e/o all'apparato ottico.

grandi nomi dell'epoca, William Herschel e Johann Schröter, sulla possibilità di scorgere alte montagne sul pianeta, sveltanti al di sopra del tetto di nubi e illuminate dai raggi solari analogamente a quanto accade ai picchi di alcuni crateri lunari (fig. 1).

Accantonata la possibilità di scorgere alcunché sul suolo venusiano, un notevole passo avanti nella conoscenza del pianeta venne fatto grazie a Frank Ross, nel 1927 (fig. 2). Usando gli strumenti da 60 e da 100 pollici di Monte Wilson, Ross scoprì che le nubi mostravano finalmente qualche dettaglio se riprese in luce ultravioletta. Sulla scia del lavoro pionieristico di Ross, l'astrofilo Charles Boyer con la collaborazione del professionista Henri Camichel al Pic du Midi, fecero l'importante passo successivo che fu quello di tracciare le formazioni atmosferiche per determinare il periodo di rotazione. Vale la pena sottolineare come Boyer usasse un Newton autocostruito da soli 25 cm per le sue ricerche, anche se equipaggiato con ottiche Texereau di prim'ordine e ubicato in un sito favorevole posto all'equatore.

La campagna durò alcuni anni, e fu coronata da successo, o almeno così credettero i due ricercatori. La coltre nuvolosa venusiana mostra infatti alcune strutture ricorrenti a forma di Y o di psi greca, attendendo il riapparire delle quali fu possibile stimare il periodo della rotazione delle nubi che risultò pari a circa quattro giorni terrestri. Questa scoperta (siamo nel 1960) fruttò però ai loro autori diffidenza e talvolta derisione da parte della comunità astronomica, e Carl Sagan rifiutò la

pubblicazione sulla sua rivista, *Icarus*, all'articolo in cui Boyer e Camichel esponevano i loro risultati.

Il tempo, tuttavia, anche in questo caso fu galantuomo, e nel 1974 la sonda Mariner 10 confermò il periodo di rotazione di quattro giorni all'equatore. Successivamente, misure radio indicarono la lentissima rotazione del corpo solido planetario, che avviene in ben 243 giorni terrestri in senso retrogrado (orario): ecco perché si parla di *superrotazione* delle nubi venusiane. Il valore attualmente accettato per la velocità dei venti all'equatore alla quota delle nubi principali è intorno ai 100 ± 10 m/s (360 km/h). Dopo un picco alle medie latitudini pari a circa 110 m/s, la velocità diminuisce rapidamente verso i poli.

Lo strato di nubi e nebbie venusiane è alto circa 90 km, stratificate in tre zone aventi caratteristiche fisico-chimiche abbastanza differenti. Molto schematicamente, abbiamo uno strato inferiore di nebbie tra i 35 e i 50 km, e uno strato di nebbie superiori tra i 70 e i 90 km circa. Tra questi due *layer* si trovano le nubi principali, composte essenzialmente da goccioline di acido solforico (H_2SO_4) ed otticamente opache. Il tetto di queste nubi è quello più interessante dal nostro punto di vista perché sede di un composto la cui identità ancora non è conosciuta, in grado insieme all'anidride solforosa (SO_2) di assorbire efficacemente la luce UV di lunghezza d'onda intorno ai 350 nanometri ($0.35 \mu\text{m}$). Rendendo per contrasto più scure le aree dove è presente (*UV-markings*), questo misterioso assorbitore consente di studiare la dinamica atmosferica del pianeta.

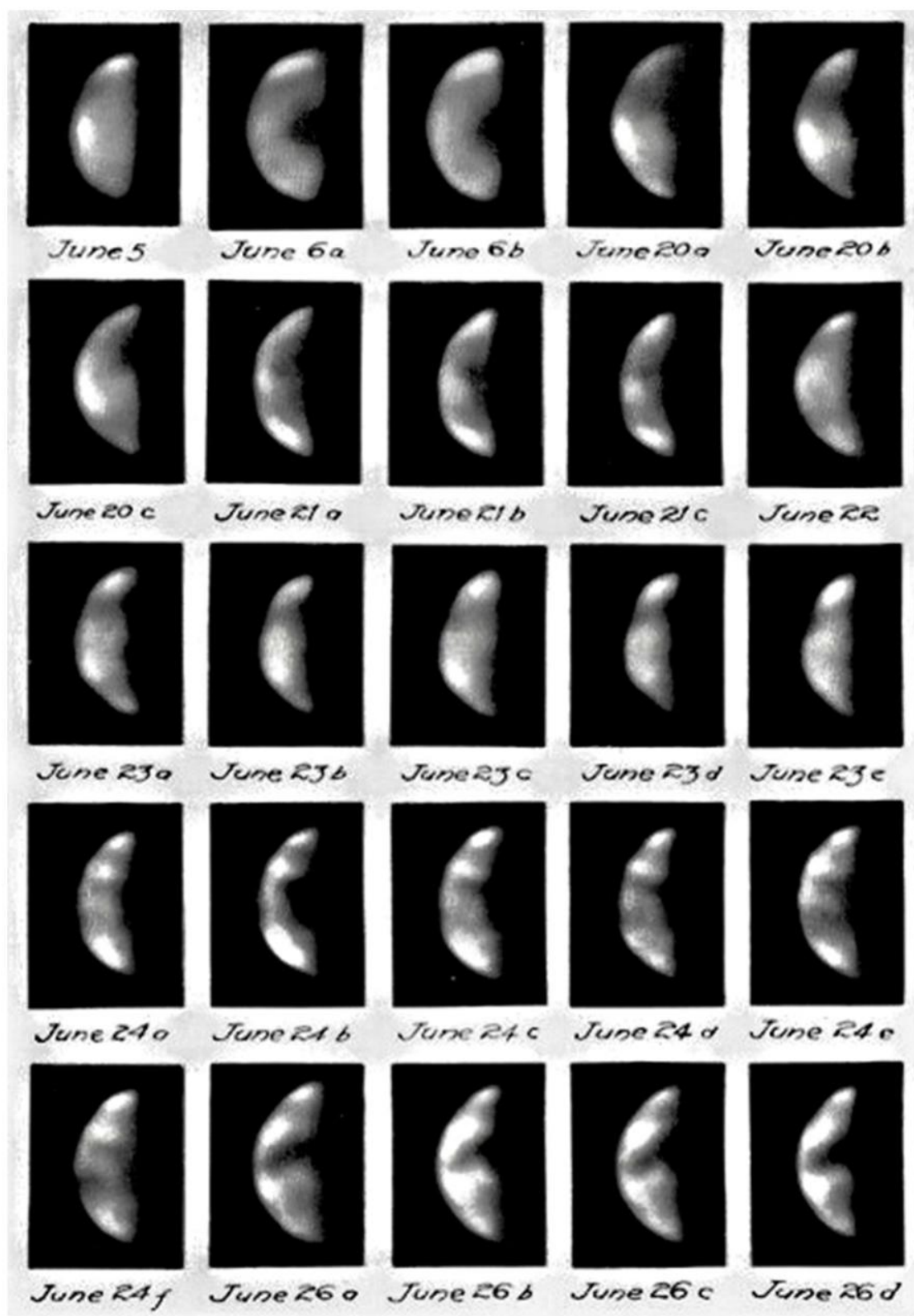


Figura 2. Le nubi di Venere riprese per la prima volta nel 1927 da Frank Ross su pellicola a Monte Wilson, utilizzando un filtro ultravioletto.

Imaging amatoriale delle nubi in ultravioletto

Come abbiamo visto il miglior modo per evidenziare qualche dettaglio nell'atmosfera di Venere è quello di riprendere il pianeta in luce ultravioletta. Esistono diversi ottimi filtri UV in commercio (Astrodon, Baader, IDAS) che purtroppo sono tutti piuttosto costosi. Un'alternativa più economica, ma abbastanza efficace, è quella di accoppiare il filtro violetto W47 a un altro filtro che blocchi la luce infrarossa che il primo lascia passare: ad esempio lo Schott BG39 o BG40. In questo modo i contrasti saranno un po' minori di quelli ottenibili usando il filtro dedicato, ma in compenso entrerà molta più luce rispetto al filtro UV, rendendo questa soluzione particolarmente adatta ai possessori di strumenti piccoli e medi.

Il telescopio, in virtù della generosa scala spaziale delle nubi, non dev'essere necessariamente di grande diametro, ed ottimi risultati si possono ottenere anche con piccoli Maksutov o rifrattori da 10-12 centimetri. Gli strumenti a soli specchi (Newton, Cassegrain classico, Dall-Kirkham eccetera) risultano favoriti perché le lenti, ivi comprese le lastre correttive, assorbono una parte della luce ultravioletta a disposizione. Si noti che quanto detto vale anche per gli accessori quali le lenti di Barlow ordinarie, il che favorisce ancor più telescopi lenti (a rapporto focale maggiore di circa $f/10$) che possono farne a meno. Le Barlow in silice fusa, se si riesce a trovarle, sono le più adatte per l'imaging venusiano.

Il rilevatore può essere uno dei validi sensori CMOS attualmente in commercio, che hanno una discreta sensibilità nella banda che ci interessa. Tra questi, il migliore è attualmente il Sony IMX290, disponibile su diverse camere planetarie.

Per la ripresa vera e propria, il momento migliore è quello intorno alla massima elongazione orientale od occidentale, quando il pianeta si presenta illuminato a metà (dicotomia) o poco più. È preferibile riprendere Venere di giorno, quando passa al meridiano, evitando i momenti in cui lo strumento è investito dai raggi del Sole (tetti ed alberi possono una volta tanto tornare utili, schermando la nostra stella). In alternativa si può riprendere ai crepuscoli, ponendo attenzione a che il pianeta non sia troppo basso sull'orizzonte ed utilizzando in ogni caso un correttore di dispersione atmosferica (ADC) al di sotto dei 35° - 40° di altezza. Grazie alla grande luminosità di Venere, e alla sensibilità dei sensori odierni, è possibile acquisire in pochi minuti migliaia di frames ed ottenere una immagine piuttosto nitida, anche se la grande luce diffusa dal cielo diurno complicherà la corretta messa a fuoco ed il seeing in ultravioletto spesso non sarà favorevole.

Per evidenziare il movimento delle nubi, vanno effettuate almeno due o tre riprese a distanza di 30-60 minuti ognuna, che andranno poi messe a registro ed elaborate con i software disponibili in rete. Ad esempio, Autostakkert! di Emil Kraaikamp è ottimo per l'allineamento e lo stacking, mentre Registax 6 può essere utilizzato per i suoi wavelet, assai versatili e potenti.



Figura 3. Un filtro ultravioletto (a sinistra) è il migliore per la ripresa delle nubi venusiane. Un'alternativa economica è costituita da un filtro violetto visuale Wratten 47 a cui viene accoppiato un taglia infrarossi (Schott BG39, celeste).

Entrambi sono gratuiti.

È meglio, in sede di processing, tenere la mano leggera ed utilizzare wavelet a raggio medio-largo. Quando il lembo del pianeta inizia a saturare vuol dire che siamo arrivati al limite ed è opportuno fermarsi, o provare con parametri differenti. Agendo sull'istogramma è invece possibile scurire il fondo cielo, aumentando i contrasti e quindi la leggibilità dei dati.

Misurazione delle immagini e calcolo della velocità di rotazione delle nubi

Una volta ottenuta una serie di immagini, se il seeing è stato abbastanza favorevole e non si sono commessi errori tecnici, il disco del pianeta mostrerà gli *UV-markings* e, probabilmente, delle calotte polari brillanti.

Ora, con l'aiuto del software WinJupos, dobbiamo misurare la posizione di dettagli opportunamente selezionati, e calcolarne lo spostamento (non è qui possibile approfondire l'utilizzo di WinJupos, per il quale si rimanda ai molti tutorial disponibili sul Web). Per fare ciò disponiamo la maschera di misura il più accuratamente possibile intorno al disco planetario, utilizzando se occorre la funzione *Limb Darkening (LD) compensation* opportunamente settata. Si noti che per un lavoro davvero accurato il polo planetario va trovato usando il metodo della deriva, visto che non ci sono né satelliti né anelli che aiutano come per Giove e Saturno. Altrimenti, possiamo orientare il pianeta "ad occhio" ossia con la congiungente delle cuspidi disposta in verticale. Facciamo attenzione anche che i lembi precedente (p) e seguente (f) siano al posto dovuto, cioè che la maschera di misura non sia specchiata (con il Nord in alto il lembo p è a sinistra, fig. 4).

Adesso occorre scegliere dettagli adatti al nostro scopo, e questo è il punto più delicato perché i contrasti venusiani sono mal definiti introducendo una significativa incertezza nei dati. Talvolta, specie se il seeing è molto buono, si possono identificare strutture circoscritte e abbastanza nette, che possono servire come traccianti.

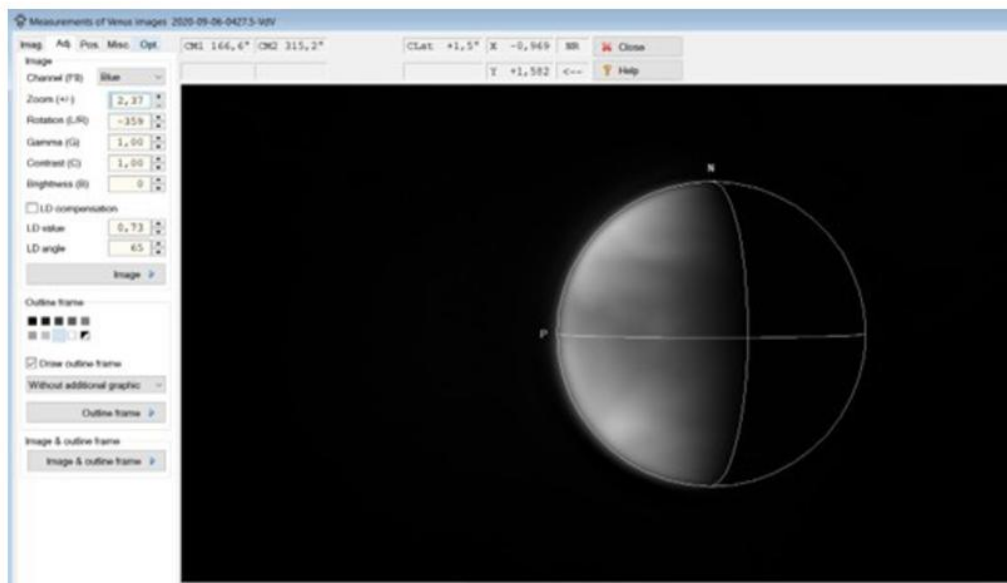


Figura 4. Maschera di misura di WinJupos correttamente posizionata intorno al disco venusiano.

Uno di questi casi è quello mostrato in figura 5, dove una piccola zona chiara è adatta ad essere usata come tracciante. Le riprese, entrambe in luce ultravioletta, risalgono al 6 settembre 2020 e sono state ottenute dall'autore utilizzando un Cassegrain classico da 30 cm e dall'amatore spagnolo Joaquín Camarena con un C14. Idealmente, occorre trovare tre o quattro di simili dettagli a latitudini diverse perché la velocità della superrotazione come abbiamo visto non è costante lungo i meridiani. Per ogni coppia di immagini scelte, misuriamo la longitudine (λ) con WinJupos (scheda "Pos."), prendendo il parametro di WinJupos L1, riferito al sistema di riferimento 1 solidale alla superficie venusiana (il parametro B indica la latitudine).

Si noti che l'errore intrinseco nella procedura di misurazione è nell'ordine del grado, quindi è consigliabile arrotondare i valori di latitudine e longitudine all'intero più prossimo.

La relazione che dà la velocità di rotazione delle nubi v_s è la seguente:

$$v_s = \frac{R \cos(\varphi)}{57.3} \cdot \frac{|\lambda_2 - \lambda_1|}{\Delta t}$$

dove R è il raggio del pianeta, φ la latitudine del dettaglio e Δt la distanza temporale tra le due immagini, facilmente calcolabile da WinJupos che fornisce il tempo medio di ogni ripresa.

Qualche considerazione sull'equazione sopra:

- Vista la quota media delle nubi intorno ai 70 km e il raggio

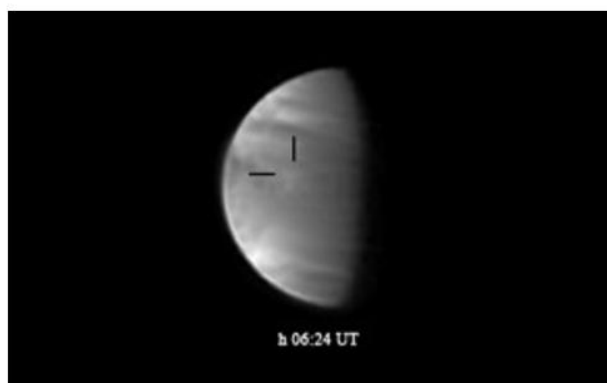
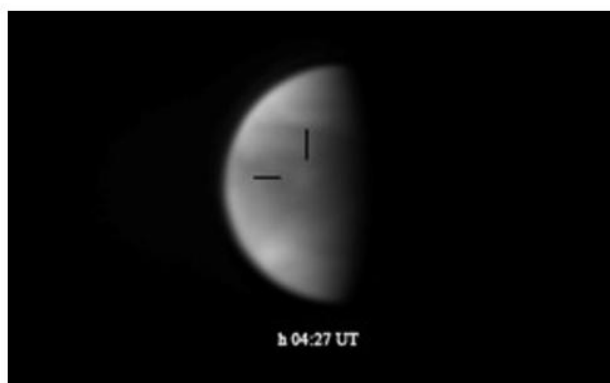


Figura 5. Le due immagini usate per ricavare la velocità della superrotazione delle nubi venusiane, riprese da V. della Vecchia (in alto) e J. Camarena il 6 settembre 2020. Il dettaglio chiaro che è stato misurato è indicato dalle stanghette nere. Si apprezza lo spostamento delle nubi in senso orario, pari a circa sette gradi in due ore (il Nord è in alto).

del corpo solido pari a 6050 km, si può assumere $R=6120$ km;

- Il termine $R \cos \phi (\lambda_2 - \lambda_1)$ rappresenta l'arco di circonferenza percorso da un piccolo dettaglio a latitudine ϕ (fig. 6). Il pianeta è supposto sferico;
- Il 57.3 a denominatore è il fattore di conversione tra gradi e radianti;
- Per convertire la velocità da km/h a m/s basta dividerla per 3.6; per passare dai m/s ai km/h si moltiplica per lo stesso valore;
- I risultati più accurati si ottengono mediando su tutta la serie di immagini acquisite.

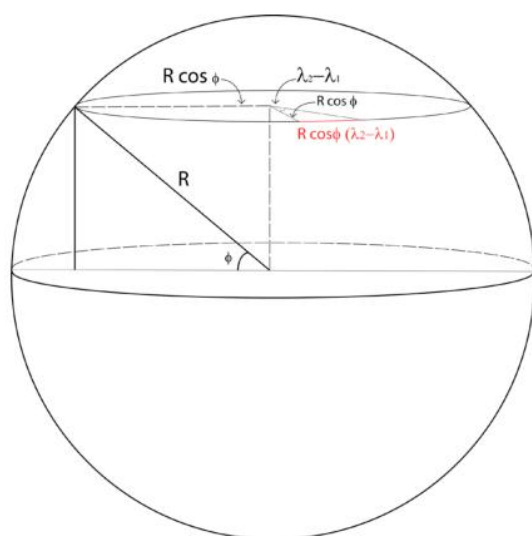


Figura 6

Se poniamo R in km, la latitudine e la longitudine in gradi e Δt in ore otteniamo la velocità di superrotazione in km/h. Il

periodo di superrotazione, in giorni, si ottiene invece da una semplice proporzione:

$$P_s = \frac{\left(\frac{360 \cdot \Delta t}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)}{24}$$

La tabella mostra i dati per le due immagini dell'autore e di Camarena.

Il risultato ottenuto, benché ricavato da una sola coppia di misurazioni, mostra un ottimo accordo con il valore accettato oggi. Va notato che misure recenti, eseguite dalla sonda Venus Express, hanno indicato una certa variabilità nel regime dei venti, corrispondenti a periodi di rotazione da poco meno 4 giorni a più di 5 giorni terrestri a latitudini equatoriali.

La prossima massima elongazione di Venere avverrà nella primavera-estate del 2023 e sarà orientale (serale). Il pianeta risulterà ben osservabile dalle nostre latitudini in orari comodi, offrendo un'ottima occasione per tentare la ripresa delle nubi in ultravioletto. Gli osservatori più seri e preparati possono tentare di stimare la velocità della superrotazione dalle loro immagini utilizzando la metodologia descritta in questo articolo, oppure possono inviarle alla Sezione Pianeti UAI (<https://www.uai.it/pianeti/>) alla quale è opportuno in ogni caso far confluire i dati.

Riferimenti:

- M. Falorni-P. Tanga, *Osservare i Pianeti*, Manuale della Sezione Pianeti UAI, 1994
 C. Pellier et al., *Planetary Astronomy*, Axilone 2021
 Taylor, F.W., *Planetary atmospheres*, Oxford University Press, 2010
 A. Sánchez-Lavega et al., *Venus cloud morphology and motions from ground-based images at the time of the Akatsuki orbit insertion*, 2016
 G. Monachino, *Vitesse de la rotation de la couche nuageuse de la planète Vénus dans l'ultraviolet et l'infrarouge*, 2012
 Carbognani, A., *L'elongazione Ovest di Venere nel 2007-2008*, su *Astronomia UAI*, novembre-dicembre 2008

V. Della Vecchia Cassegrain classico 30 cm, camera ASI290MM		J. Camarena Celestron C14, camera ASI290MM, Barlow 2x	
Tempo medio di ripresa (UT)	04:27	Tempo medio di ripresa (UT)	06:24
Latitudine (ϕ)	4°N	Latitudine (ϕ)	4°N
Longitudine nel Sistema 1	148°	Longitudine nel Sistema 1	141°
$\Delta t = 01h\ 57min = 1,95\ h$			
Velocità di superrotazione: 381 km/h (~ 106 m/s)			
Periodo di superrotazione: 4.2 giorni			