

hanno ipotizzato possa essere il risultato di un oscuramento degli aerosol attraverso l'irradiazione solare UV (Lockwood e Thompson, 1986). Al contrario, Moses et al. (1989a) hanno tentato di spiegare la correlazione percepita con una riduzione dell'opacità dell'aerosol risultante dalle variazioni dei raggi cosmici ad alta energia e dalla conseguente nucleazione indotta dagli ioni.

Il pianeta continuò ad essere monitorato su base annuale al Lowell Observatory. Sromovsky et al. (1993) hanno suggerito che la variabilità a lungo termine della luminosità fosse un effetto stagionale, ritardato nel tempo da ~30 anni. Utilizzando l'intero database dal 1950 al 2005, Lockwood e Jerzykiewicz, 2006, Lockwood e Thompson, 2002 hanno mostrato che la variabilità a lungo termine osservata nella luminosità di Nettuno non poteva essere causata da variazioni stagionali, poiché i precedenti dati del 1950-1966 erano molto più deboli del previsto in base alle variazioni stagionali. Hanno anche riferito che l'apparente anti-correlazione con il ciclo solare era "svanita", cioè non era più presente nei loro dati più recenti.

Le prime immagini ad alta risoluzione del pianeta sono state scattate durante il periodo di 2 mesi di Voyager 6 prima del massimo avvicinamento nel 1989 (Smith et al., 1989). Queste immagini hanno rivelato un'atmosfera dinamica caratterizzata da una Grande Macchia Scura ad una latitudine planetocentrica di ~ 18°S (il GDS), una macchia scura più piccola vicino a 53°S (indicato come DS2), una funzione di nuvole luminose in rapido movimento ("Scooter") vicino a 41°S, e caratteristiche nel sud denominate South Polar Features (SPF) vicino a una latitudine di 70°S (Smith et al., 1989, Limaye e Sromovsky, 1991).

Dopo Voyager 2, i progressi tecnologici hanno portato al lancio del telescopio spaziale Hubble (HST) nel 1990 e allo sviluppo dell'ottica adattiva (AO) a lunghezze d'onda infrarosse per telescopi terrestri nel 1990. HST e AO erano soluzioni alla distorsione atmosferica presente nei dati nel visibile e nel vicino infrarosso presi dai telescopi terrestri utilizzando tecniche di osservazione convenzionali. L'apparizione di Nettuno nelle prime osservazioni vicino all'IR dalla fine degli anni 1990 e all'inizio degli anni 2000 è stata caratterizzata da ampie e luminose bande di attività alle medie latitudini e da un equatore scuro privo di caratteristiche nuvolose - un cambiamento drammatico rispetto alla sua comparsa nei dati di Voyager 2 (ad esempio, Max et al., 2003, Martin et al., 2012, Roddier et al., 1997, Gibbard et al., 2003, Hammel e Lockwood, 1997, Sromovsky et al., 2001).

Hammel e Lockwood (2007) hanno fornito un eccellente riassunto delle osservazioni mediate e risolte dal disco di Nettuno. Hanno suggerito che Nettuno subisce un modello di luminosità a tre stadi nel vicino IR, iniziando con una caratteristica anomala luminosa, o "tempesta", seguita da un periodo di 5 anni durante il quale una singola caratteristica luminosa domina la luminosità e termina con un periodo che chiamano "transitorio", in cui nessuna singola caratteristica domina la luminosità. Questo modello spiegherebbe la luminosità superiore al previsto a metà degli anni '70 e la forte modulazione rotazionale nel vicino IR tra il 1977 e il 1980 come riportato da Cruikshank (1978), Brown et al. (1981) e Belton et al. (1981). Questa modulazione rotazionale è stata assente durante il 1981-1985, dopo di che una singola caratteristica ha dominato di nuovo la luminosità (ad esempio Hammel, 1989, Hammel et al., 1989). Con il flyby di Voyager, questa caratteristica è stata riconosciuta come una nube compagna del GDS (e.g., Smith et al., 1989). Sulla base dei dati disponibili all'epoca, Hammel e Lockwood (2007) suggeriscono che questi anni sono stati seguiti da una fase quiescente, fino a quando una caratteristica anomala luminosa è stata riconosciuta nel 1993 nei dati fotometrici di Lockwood, identificata come una nube luminosa compagna di una nuova macchia scura nei primi dati HST (Hammel et al., 1995). Tali tempeste luminose sono state visibili per tutto il 1990, osservate nell'imaging ad alta risoluzione spaziale da terra attraverso l'imaging speckle (Gibbard et al., 2002).

Quando AO è entrato in linea con il telescopio Keck da 10 metri nel 1999, entrambe le immagini Keck AO e HST hanno mostrato un cambiamento nella distribuzione latitudinale delle nuvole: le nuvole erano ancora

confinare a latitudini specifiche, ma la gamma di latitudini si era ampliata considerevolmente, sia alle latitudini centro-meridionali che settentrionali, con occasionali piccole caratteristiche vicino all'equatore (ad esempio, Max et al., 2003, Karkoschka, 2011, Martin et al., 2012). Inoltre, nessuna tempesta era visibile nei primi anni 2000. Una combinazione di dati HST mediati dal disco dell'Osservatorio Lowell (Lockwood, 2019) in lunghezze d'onda blu (F467M) (Zorzi, 2019) mostra che la luminosità di Nettuno ha continuato ad aumentare gradualmente fino al solstizio d'estate australe (2005) ed è rimasta piatta fino al solstizio d'estate meridionale (<>) ed è rimasta piatta fino a ~2012, dopo di che ha iniziato a diminuire nel complesso.

Alcune osservazioni degne di nota sono state riportate dal 2007: nel 2015, una tempesta luminosa è stata osservata nei dati Keck AO vicino all'IR, che è stata identificata come una nube compagna di una nuova macchia scura sul pianeta (Hueso et al., 2017, Wong et al., 2018), abbastanza simile alle nubi compagne viste vicino al GDS Voyager e alle macchie scure nel 1990. Una seconda nuova macchia scura è stata rilevata nel nord nel 2018 (Simon et al., 2019); questo punto era eccezionalmente grande e longevo (Wong et al., 2022). Notiamo che non sono state rilevate macchie scure durante il periodo 1996-2015 (Hsu et al., 2019).

Sono state esplorate potenziali correlazioni delle variazioni della luminosità di Nettuno con il cambiamento delle stagioni e il ciclo di attività solare, ma finora non è stata identificata una singola causa. Mentre gli effetti stagionali sono molto probabilmente importanti per i lenti cambiamenti gradualmente, le variazioni secolari della luminosità devono avere un'origine diversa. Aplin e Harrison (2016) suggeriscono che sia la luce solare UV che i raggi cosmici galattici probabilmente influenzano la luminosità di Nettuno alle lunghezze d'onda visibili. Roman et al. (2022) hanno notato una potenziale correlazione tra la quantità di nubi discrete osservate nelle osservazioni nel vicino infrarosso (Karkoschka, 2011) e il flusso solare Lyman-alfa, ma questo era basato su dati limitati a meno di 2 cicli solari.

In questo momento, abbiamo quasi 30 anni di dati ad alta risoluzione spaziale che coprono quasi 3 cicli solari, anche se ancora solo ~20% dell'orbita di Nettuno. In questo articolo, studiamo i cambiamenti nella luminosità e nella copertura nuvolosa di Nettuno in queste immagini per affrontare la questione della sua variabilità nel tempo. Nella Sezione 2 riassumiamo le osservazioni (per lo più d'archivio) di HST, Keck e Lick dal 1994 al 2022 utilizzate in questo articolo; La sezione 2.2 delinea i metodi di riduzione e calibrazione dei dati che abbiamo usato per questi dati. Descriviamo la nostra analisi nella Sezione 3, che ha coinvolto diverse misurazioni dell'attività nuvolosa di Nettuno, compresa la frazione del disco coperta di nuvole, la luminosità del disco, il contributo della luminosità delle nuvole e i livelli di pressione tipici di queste nuvole. Infine, esploriamo le tendenze generali in queste quantità che caratterizzano l'attività del cloud e speculiamo sulle possibili cause di eventuali modelli osservati.

Frammenti di sezione

Dati

I programmi che hanno contribuito alle osservazioni a lungo termine di Nettuno includono l'Outer Planet Atmospheres Legacy (OPAL)¹ (Simon et al., 2015) con il telescopio spaziale Hubble e il programma Twilight Zone² (Molter et al., 2019) presso Keck Observatory e Lick Observatory. I dati OPAL presenti in questo documento sono stati presi dal 2015 al 2021, i dati di Keck Twilight Zone dal 2017 al 2022 e ...

Analisi dell'attività cloud

Come sottolineato nell'Introduzione, mentre gli effetti stagionali sono probabilmente importanti, la causa delle variazioni secolari nella luminosità di Nettuno non è nota; sono stati suggeriti sia la luce solare UV che i raggi cosmici galattici. Con quasi 30 anni di dati ad alta risoluzione spaziale da HST e Keck combinati, usiamo questi dati per indagare ulteriormente la causa della variabilità di Nettuno. Per fare ciò, determiniamo prima la frazione del disco di Nettuno che era coperta dalle nuvole e come questo varia nel tempo. Nostro...

Area nuvolosa frazionaria e I/F della nuvola: modelli generali

Le due quantità che usiamo per misurare l'attività delle nuvole sono la frazione del disco di Nettuno che contiene le nuvole (vedi Fig. 3) e l'I/F spettralmente piatto mediato dal disco e sottratto dallo sfondo (vedi Fig. 8). In questa sezione, ci riferiamo a queste due quantità come copertura nuvolosa di Nettuno e luminosità media delle nuvole.

I risultati del nostro lavoro di copertura cloud dovrebbero essere confrontati con il lavoro svolto da Karkoschka (2011). L'autore ha analizzato la copertura nuvolosa di Nettuno tra il 1994 e il 2010 nei dati HST, e mentre...

Conclusioni

Abbiamo esaminato la variazione temporale nella copertura nuvolosa frazionaria e l'I/F mediato dal disco delle nubi di Nettuno derivato dai dati HST e Keck nel vicino infrarosso tra il 1994 e il 2022. Riassumiamo i nostri risultati come segue:

- La variazione periodica è evidente nell'attività nuvolosa di Nettuno. Mentre è presente nella copertura nuvolosa frazionaria, è più notevole nelle misurazioni della luminosità della nube mediata dal disco. Abbiamo documentato due cicli di attività con massimi in ~2002 e 2015, e minimi in ~1996, 2007, e...

...

Dichiarazione di interesse concorrente

Gli autori dichiarano di non avere interessi finanziari concorrenti noti o relazioni personali che potrebbero aver influenzato il lavoro riportato in questo articolo....

Riconoscimenti

Vorremmo ringraziare i due revisori anonimi i cui commenti hanno notevolmente migliorato questo manoscritto. Questo lavoro è stato sostenuto dalla National Science Foundation, Stati Uniti, NSF Grant AST-1615004 alla UC Berkeley. M. Roman è stato sostenuto da un Consolidator Grant del Consiglio europeo della ricerca (nell'ambito del programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione europea, accordo di sovvenzione n. 723890) presso l'Università di Leicester.

Molte delle immagini sono state ottenute con l'Osservatorio W. M. Keck, che è...

Referenze (52)

Belton M.J. *et al.*
Icaro (1981)

MarroneR. *et al.*

Icaro (1981)

ChavezE. *et al.*

Icaro (2023)

de Paterl. *et al.*

Icaro (2014)

de Paterl. *et al.*

Icaro (2006)

de Paterl. *et al.*

Icaro (2011)

FriggereP.M. *et al.*

Icaro (2023)

GibbardS. *et al.*

Icaro (2003)

GibbardS. *et al.*

Icaro (2002)

HammelH.

Icaro (1989)



Visualizza altre referenze

Citato da (0)

Articoli consigliati (6)

Articolo di ricerca

[Previsione delle collisioni di meteoroidi originati dalla cometa 21P/Giacobini-Zinner con Mercurio, Venere e Marte](#)

Icaro, volume 405, 2023, articolo 115694

[Mostra abstract](#)

Articolo di ricerca

[Un'equazione del vento termico equatoriale: applicazioni a Giove](#)

Icaro, Volume 324, 2019, pp. 198-223

[Mostra abstract](#)

Articolo di ricerca

[N₂ l'accrescimento, il metamorfismo dell'azoto organico o entrambi i processi hanno probabilmente contribuito all'origine dell'N di Plutone.₂](#)

Icaro, volume 404, 2023, articolo 115651

[Mostra abstract](#) ✓

Articolo di ricerca

[Approfondimenti sulla modalità di guasto della meteora di Chelyabinsk dalla simulazione ad alta fedeltà](#)

Icaro, volume 404, 2023, articolo 115686

[Mostra abstract](#) ✓

Articolo di ricerca

[Caratterizzazione magnetica della condrite di Daule \(la prima caduta di meteoriti dell'Ecuador\): il caso della sfuggente tetrataenite?](#)

Icaro, volume 404, 2023, articolo 115684

[Mostra abstract](#) ✓

Articolo di ricerca

[Ricristallizzazione dinamica del ghiaccio all'interno del guscio di ghiaccio di Europa: implicazioni per la convezione allo stato solido](#)

Icaro, volume 403, 2023, articolo 115648

[Mostra abstract](#) ✓

[Visualizza il testo completo](#)

© 2023 Elsevier Inc. Tutti i diritti riservati.



Copyright © 2023 Elsevier B.V. or its licensors or contributors.
ScienceDirect® is a registered trademark of Elsevier B.V.

 RELX™