# La circolazione atmosferica di Giove Meteorologia di Giove e della Terra

Giovanni Di Giovanni

Osservatorio Astronomico di Colle Leone, Mosciano Santangelo (Teramo)

Abstract. An interpretation of the data of Jupiter's observations, publicized from the Unione Astrofili Italiani (Italian Amateur Astronomers), it is presented here. With the information from infrared observations the dynamics and origin of the atmosphere of Jupiter are qualitatively discussed. It is do distinctive reference to the relations and analogie with the atmospheric phenomenons on the Earth.

Tra tutti i pianeti Giove è quello che mostra il maggior numero di dettagli superficiali. Spettacolari colori e rapide variazioni nella conformazione dei particolari, ben visibili anche attraverso un piccolo telescopio, lo rendono l'astro più osservato dagli astronomi dilettanti (fig. 1). Al telescopio non appare una compatta superficie solida o liquida; tutte le strutture visibili sono nubi distribuite secondo fasce parallele all'equatore (zone chiare e bande scure) con particolari, più o meno minuti e marcati, persistenti da qualche ora o qualche giorno fino a decenni o addirittura secoli.

Sono considerevoli le lunghe serie di dati collezionate dai dilettanti americani dell'ALPO e britannici della BAA che, protratte ormai da un secolo, costituiscono un prezioso archivio indispensabile per lo studio delle correnti atmosferiche.

Da circa dieci anni anche presso la sezione pianeti dell'Unione Astrofili Italiani si raccolgono diligentemente le osservazioni di Giove effettuate da soci e collaboratori e vengono pubblicati dati relativi a colorazioni, intensità luminose delle formazioni, variabilità e periodi di rotazione.

Tale raccolta consta già di una discreta mole di buoni dati ed è sintetizzata nella Tab. I. In un precedente articolo (Di Giovanni, 1995), che in seguito è riferito come articolo 1, sono stati elaborati i dati UAI relativi ai periodi di rotazione.

In questa sede vengono esaminati altri elementi osservati quali colorazioni e movimenti di macchie, dedotte le principali peculiarità della meteorologia gioviana e confrontate con quelle della meteorologia terrestre.

È opportuno perciò richiamare alcuni fondamenti della dinamica dell'atmosfera terrestre.

#### La dinamica nell'atmosfera terrestre

Quando tra due regioni della superficie non eccessivamente lontane l'una dall'altra si instaura una differenza di pressione, la forza derivante dal gradiente agisce sulle masse di aria spostandole dalla regione avente pressione maggiore verso la regione avente pressione minore (Somma, 1964).

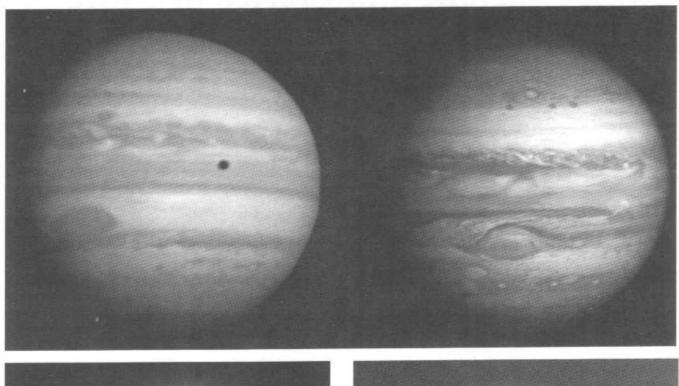
Il movimento però non avviene mai lungo la direzione del gradiente cioè direttamente verso la bassa pressione in quanto oltre alla forza di pressione intervengono altri fattori quali le forze d'attrito, gli effetti indotti dalla topografia del suolo e soprattutto dalla rotazione terrestre che si manifesta tramite la forza di Coriolis.

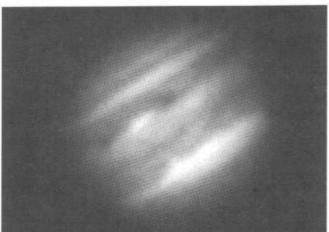
Ci si rende conto facilmente dell'effetto indotto dalla forza di Coriolis tenendo presente che la Terra appare ruotare in senso antiorario se osservata dal polo nord, orario se osservata dal polo sud e che i punti della superficie sono animati da una velocità degradante dall'equatore, dove è massima, verso i poli, dove è zero.

Se la Terra non ruotasse, un generico corpo lanciato in una certa direzione si muoverebbe sul piano verticale della direzione iniziale. Durante il movimento, però, la rotazione fa sì che la superficie scorra sotto il corpo, sicché il moto appare deviato ad un osservatore solidale con la Terra. Ad esempio a un tale osservatore la traiettoria di una massa d'aria che parte dal polo nord dirigendosi verso l'equatore appare deviata verso destra, mentre il contrario avviene nell'emisfero australe dove il moto dal polo sud verso l'equatore appare deviato verso sinistra. Più in generale l'effetto della rotazione sui corpi in movimento sopra la superficie consiste nella deviazione del loro moto verso destra nell'emisfero boreale e verso sinistra nell'emisfero australe qualunque sia il punto di partenza e la direzione iniziale della traiettoria, eccezion fatta per i movimenti lungo l'equatore che non vengono deviati né a destra né a sinistra.

La forza di Coriolis è funzione crescente della latitudine (zero sull'equatore, massima sui poli) e

#### G. DI GIOVANNI





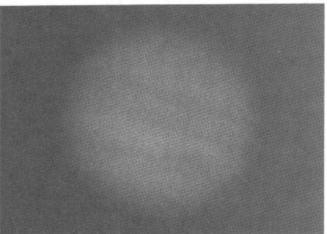


Fig. 1. Giove fotografato dalla sonda Pioneer 10 nel 1973 (in alto a sinistra), da Voyager 1 nel 1979 (in alto a destra), da un telescopio amatoriale Newton 300 mm f/170 nel marzo-aprile 1991 su pellicola TP2415 (in basso a sinistra) e con un Newton da 400 mm il 20 aprile 1971 (in basso a destra).

della velocità del corpo relativa alla superficie.

La stabilità del moto orizzontale di una massa d'aria, o anche di acqua oceanica, è determinata in prima approssimazione dall'equilibrio tra la forza di pressione e la forza di Coriolis. La forza di Coriolis allontanerà la massa dallo spostamento secondo il gradiente barico provocandone il movimento parallelamente alle isobare. Questa condizione è chiamata di equilibrio geostrofico e il vento orizzontale risultante è detto vento geostrofico: soffia parallelamente alle isobare con il campo di bassa pressione a sinistra della corrente nell'emisfero nord, a destra nell'emisfero sud.

Sia un campo barico rappresentato con isobare ovaliformi (fig. 2), contenenti le regioni di alta

(Alta) e di bassa pressione (Bassa). La sola forza di pressione *G* essendo diretta da A verso B farebbe muovere le particelle di aria direttamente da A in B. Però, in pratica, la forza *f* di viscosità (attrito) anche se piccola non è mai trascurabile, perciò l'equilibrio delle forze è realizzato con tre componenti: la risultante tra la forza d'attrito e quella di Coriolis *Co* bilancia la forza di pressione. Quindi il vettore *V* velocità del vento, non più geostrofico, formerà un certo angolo con la direzione del gradiente barico e non sarà più parallela alle isobare.

Allora le particelle d'aria si muoveranno dalla periferia raggiungendo la depressione non seguendo una linea retta ma, costantemente allontanate dalla direzione iniziale a causa delle forze di Coriolis e La circolazione atmosferica di Giove. Meteorologia di Giove e della Terra

Tab. I - Osservazioni di GIOVE: Sommario dei principali dati UAI (SezionePianeti)

Struttura	Corrente	Latitudine approssimata	Periodo h min sec	Colore	/elocità relativa m/sec	Senso della velocità W E
NPR	NPC	50	9 55 42	Verde, giallo, grigio	-2,7	
NNNTeB	NNNTC	42	9 55 46	Grigio, marrone	-4,2	2
NNTeZs	NNTeC A	39	9 55 45	Bianco, giallo	-4,2	
NNTeBs	NNTeC B	36	9 53 55		+27,1	
NTeZse	INNIEC B	30	9 33 33	Marrone, grigio ocra	+27,1	
NTeBn	NTeC A	31	9 55 57	Bianco giallo, bianco	-8,1	-
MNTeB	1110011	27	9 53 17	Marrone, grigio	+41.8	
NTeBs	NTeC C	22	9 52 47		+53,3	
NTrZe			, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,			
NEqBn	NTrC A	16	9 55 38	Bianco	-2.7	-
MNEqB	A11.04.00. A(4)	12	9 53 51	Grigio ocra, marrone	+34,1	$\longrightarrow$
NEqBs		0.770				
EqZn	Great EqCn	8	9 50 36	Grigio ocra, marrone	+103,1	$\longrightarrow$
EqZ		0	9 50 24	Grigio, marrone	+108,5	$\longrightarrow$
EqZs						
SÉqBn	Great EqCs	-7	9 50 26	Bianco, arancio	+106,9	$\longrightarrow$
SEqBZ		5-3-K	STORES TO TUTO		Militar version	
SEqBs	N Circ. Cur.	-15	9 55 41	Grigio ocra	-3.7	-
GRS	Discourage and Section	-21	9 55 41	Rosso arancio, giallo ross		<del></del>
STrZ		-22	9 55 29	Bianco	+0,5	$\longrightarrow$
STeBn	S Circ. Cur	-26	9 55 23		+1,9	$\longrightarrow$
STeB		-27	9 55 27	Grigio arancio, marrone	+0,9	
STeBs	S Te Cur.	-31	9 55 28		+0,6	$\longrightarrow$
STeZ	S Te. C	-33	9 55 26	Bianco	+1,2	<del></del>
SSTBn	S Tr. disturbance		9 55 20		+2,9	$\xrightarrow{\hspace*{1cm}}$
SSTeB	SSTeC	-37	9 55 16	Grigio ocra, marrone	+3,9	$\longrightarrow$
SSTeZ	SSSTeC	-39	9 55 07	Bianco giallo	+6,3	$\longrightarrow$
SPR	SPC	-49,5	9 55 30	Grigio, marrone	0,0	

Le strutture sono denominate con le sigle convenzionali (v. Osservare i pianeti, quaderni di "l'astronomia", 1994).

La tabella é stata aggiornata rispetto a quella dell'articolo 1 con ulteriori dati UAI e ALPO.

d'attrito, raggiungeranno il centro seguendo una traiettoria spiraliforme in senso antiorario nell'emisfero nord, orario nell'emisfero sud. Viceversa l'aria in allontanamento dall'alta pressione avrà il senso di rotazione invertito: orario a nord, antiorario a sud. Nell'immagine di fig. 8 sono notevoli le conformazioni spiraliformi delle perturbazioni sovrastanti l'Atlantico e l'Italia.

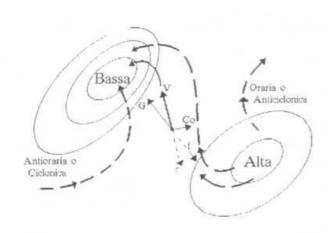
In meteorologia il movimento rotatorio attorno alla bassa pressione è chiamato circolazione o vorticità ciclonica, quello attorno all'alta pressione circolazione o vorticità anticiclonica.

I grandi uragani o cicloni tropicali e le forti depressioni a medie latitudini (Somma, 1964; Polmén e Newton, 1969) si sviluppano in località della superficie dove per qualche ragione si instaura un centro di aria calda. La massa d'aria viene animata da un movimento convettivo ascendente (fig. 3)

con tendenza a generare un vuoto sotto di sé, ovvero un centro di bassa pressione sopra la superficie, colmato dall'aria circostante che vi converge sviluppando venti superficiali a circolazione ciclonica. Da una certa quota poi l'aria proveniente dal basso diverge orizzontalmente seguendo una circolazione anticiclonica e successivamente sprofonda verso la superficie.

Questo tipo di circolazione è costantemente presente su ampia scala fra i due tropici ed è alla base del sistema di venti alisei in superficie e controalisei in quota: l'aria calda in risalita sopra l'equatore richiama lungo la superficie aria da latitudini maggiori che genera i venti alisei spiranti da NE nell'emisfero boreale e da SE in quello australe. In quota i controalisei costituiscono i venti di ritorno dall'equatore verso i poli; si allontanano dalla direzione meridiana iniziale e quindi spirano da ovest

#### G. DI GIOVANNI



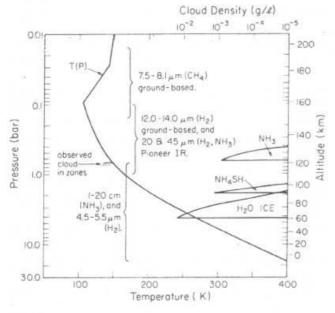
Freddo nuvole

Nuvoloso Pioggia

Calde in risalita

Fig. 2

Fig. 3



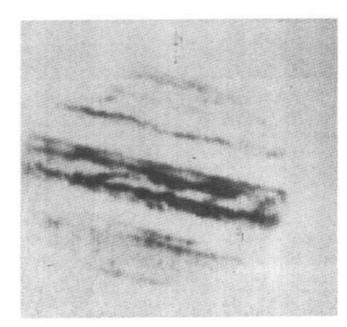


Fig. 4

Fig. 5

verso est. Alisei e controalisei generano una circolazione anticiclonica chiusa associata in entrambi gli emisferi a due anelli di alta pressione a latitudini tropicali e di bassa pressione sulla fascia equatoriale. La coltre di nubi è spessa circa 70 km, è distribuita su tutto il globo ed è suddivisa verticalmente in tre strati ben distinti: lo strato più interno è costituito da vapor d'acqua ghiacciato, quello intermedio da cristalli di idrosolfuro di ammonio; lo strato più esterno, direttamente osservato al telescopio, da cristalli di ammoniaca.

Modelli di atmosfera gioviana

La notevole varietà di colorazioni osservate (v. Tab. I) non può essere attribuita alle sole nubi di ammoniaca, non solo perché l'albedo di Giove è fortemente variabile sia nel visibile che nell'infrarosso, ma soprattutto perché i cristalli di ammoniaca a temperature così basse assumono colorazione decisamente bianca. Del resto è intuitivo ascrivere i colori osservati a diverse composizioni, quindi data la stratificazione esistente tali colori saranno dipendenti anche dall'altezza delle strutture.

Fatto osservativo fondamentale è che la potenza della radiazione emessa da Giove è circa il doppio di quella proveniente dal Sole. Perciò la maggior parte dei modelli teorici dell'atmosfera gioviana (fig. 4) tengono conto della possibile esistenza di una sorgente interna che fornisce l'energia in eccesso e concludono, evidentemente, che la temperatura deve decrescere monotonamente verso l'alto praticamente entro tutto l'intervallo di quote atmosferiche (Gulkis e Poynter, 1972).

# La circolazione atmosferica di Giove. Meteorologia di Giove e della Terra

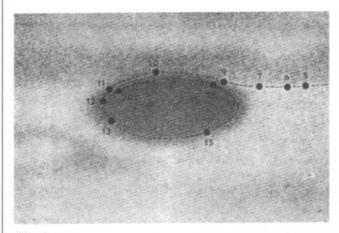


Fig. 6

Zona

Banda

Fredde

Solve of the state of t

Le osservazioni condotte da Terra con i grandi telescopi e dalle sonde Pioneer 10 e 11 mostrano una sostanziale diversità tra zone chiare e bande scure. Esiste infatti una stretta correlazione tra il flusso di radiazione infrarossa emessa dalle varie parti del disco e le strutture visibili (fig. 5; ripresa a 5 µm di lunghezza d'onda; Westphal e al. 1974). Alle parti chiare di questa immagine (zone e Grande Macchia Rossa) corrisponde la minor emissione infrarossa, quindi la loro temperatura è minore di quella delle bande e delle regioni blu o grigie (parti scure) sulle quali l'emissione infrarossa è massima. Poiché, come visto, la temperatura decresce con la quota ciò significa che le prime devono risiedere più in alto delle seconde.

La sperimentazione infrarossa è del tutto analoga a quella applicata sui satelliti meteorologici che "fotografano" le nubi terrestri sia di giorno che di notte. I radiometri infrarossi misurano il flusso della radiazione ovvero la temperatura della superficie emittente: basse temperature sulla sommità delle nubi, alte temperature in corrispondenza del sereno dato che la radiazione da qui ricevuta è quella emessa in massima parte da strati più profondi o dal suolo e quindi più caldi. È da ritenere allora che le bande su Giove siano dei veri e propri buchi nell'atmosfera del pianeta.

A proposito, si ricorda che all'epoca del *Pioneer* 10 (fig. 1) la componente sud della SEqB, localizzata a nord della GRS, ebbe un elevato albedo ma si presentò scura durante il volo del *Voyager*. Il fenomeno inverso si verificò per la NTeB a sud dei tre piccoli ovali scuri vicini al meridiano centrale.

Per un dilettante serio sarà interessante sapere che queste variazioni a grande scala costituiscono fenomeni fondamentali per lo studio dei processi di risalita e sprofondamento delle masse atmosferiche e che essi sono visibili da Terra anche attraverso strumenti di media potenza.

## La Grande Macchia Rossa

I diversi periodi di rotazione osservati e la conseguente esistenza di moti differenziali tra bande e zone adiacenti vennero usati nell'articolo 1 per verificare il sussistere dell'equilibrio geostrofico. Si suppose anche, ragionevolmente, che la rotazione differenziale non può sussistere in seno a tutta l'atmosfera; da una certa profondità le velocità relative tra le parti del fluido in moto devono annullarsi se non altro a causa della forza di viscosità. Tale spessore, stimato in base ad osservazioni di occultazioni stellari da parte di Giove, risulta dell'ordine di soli 70 km. È chiaro allora che Giove può pensarsi costituito da una sottile atmosfera circondante un corpo fluido uniformemente rotante e solidale con l'ipotetico nucleo solido molto profondo che risiederebbe a parecchie migliaia di chilometri sotto la superficie.

Qui di seguito viene trattata in modo piuttosto qualitativo la circolazione attorno alla GRS. In un prossimo articolo invece verrà esposta una trattazione analitica degli stessi argomenti.

L'ultima colonna della Tab. I riporta i versi dei getti o correnti atmosferiche. Nell'emisfero settentrionale i getti sul confine nord delle bande sono diretti verso ovest, mentre quelli sul confine sud verso est. L'opposto si verifica nell'emisfero meridionale.

Questo tipo di circolazione che avviene solo lungo i paralleli è chiamata *circolazione zonale*, ed è analoga a quella degli alisei e controalisei terrestri.

La GRS risiede sempre entro la STrZ. Il fatto che essa sia compresa tra due correnti, quella a nord sia diretta verso ovest, quella a sud verso est (Tab. I), indica una più generale circolazione antioraria attorno a essa.

In effetti questo è confermato da numerose osservazioni tra le quali è notevole quella di un piccolo spot luminoso (fig. 6; Reese e Smith, 1968) che da Terra fu visto per più giorni spostarsi attorno alla macchia seguendo il verso delle correnti esistenti sui limiti della zona entro cui la macchia risiede. Nella figura il sud è in alto, l'ovest a destra, i numeri indicano la successione dei giorni terrestri nei quali la macchia fu vista. L'osservazione di un fenomeno analogo fu fatta durante l'opposizione del 1982 dagli astrofili tedeschi Haug e Teiwes (Kowalec, 1983) che videro un piccolo spot scuro ruotare attorno alla GRS compiendo presumibilmente tre giri in 24 giorni.

Evidentemente la GRS costituisce un vortice di alta pressione a circolazione antioraria come quella associata ai cicloni terrestri alle quote in cui diverge il flusso d'aria in risalita proveniente dal suolo.

È importante notare che la GRS permane da oltre duecento anni. Fino a poco tempo addietro si pensava che essa fosse l'effetto indotto nell'atmosfera da una prominente struttura topografica sottostante. Però si intuisce (anche alla luce delle nostre osservazioni) che tale fenomeno pur possibile è improbabile o poco attendibile. Infatti il periodo di rotazione della macchia non è costante, indice che la struttura si muove relativamente alla superficie del pianeta, ed è troppo diverso dal periodo di rotazione magnetico. Del resto le sonde inviate da Terra hanno mostrato l'esistenza di altre macchie, più piccole della GRS e non solo su Giove, le quali hanno caratteristiche dinamiche simili a essa. Comunque è difficile pensare che un accoppiamento tra la topografia di un corpo solido molto profondo e l'atmosfera si manifesti così vistosamente fin sulla lontana superficie esterna.

La GRS è generata da fenomeni puramente atmosferici, essa costituisce proprio un grande vortice di nuvole, una sorta di uragano gioviano simile ai grandi vortici di nuvole terrestri.

Sulla Terra, a differenza di Giove, questi vortici migrano velocemente entro l'atmosfera condizionati dalla topografia sottostante (mari e terraferma). Ad esempio le grosse perturbazioni atlantiche nel giro di un paio di settimane si portano da ovest ad est dell'Europa mentre le catene montuose influenzano il loro moto.

La base dell'atmosfera terrestre, però, è ben delimitata da una superficie assolutamente indeformabile che sopportando qualsiasi differenza di pressione atmosferica tra le varie regioni permette lo sviluppo di intensi venti anche in vicinanza del suolo.

Su Giove una tal superficie non esiste. Il limite tra l'atmosfera gassosa e il fluido interno non è rigido e certamente viene deformato localmente laddove la pressione diviene più elevata. Così i gradienti di pressione risultano attenuati e di conseguenza i venti in profondità sono ridotti al punto che la circolazione più interna si annulla. Ne consegue che la circolazione gioviana assomiglia effettivamente più alla

nostra circolazione oceanica che a quella atmosferi-

In seno agli oceani le correnti risiedono entro uno strato superficiale (Mosetti, 1964), sono deboli negli strati immediatamente sottostanti e praticamente inesistenti negli strati profondi. L'acqua calda in risalita diverge in prossimità della superficie dove, durante l'allontanamento dalla zona di emersione, assume prevalentemente vorticità anticiclonica. È probabile che un fenomeno simile si verifichi sulla GRS.

# Circolazione generale e sorgenti di energia

Il quadro della circolazione generale di Giove dedotto dalle osservazioni di astronomi dilettanti può essere così tracciato:

I versi delle correnti esistenti sui margini delle zone e delle bande alle quote osservate con i telescopi indicano un campo di bassa pressione o vorticià ciclonica sulle bande e di alta pressione o vorticità anticiclonica sulle zone. Come sulla Terra (fig. 7) anche nell'atmosfera gioviana masse di gas caldo si innalzano in corrispondenza delle zone, aventi bassa pressione in profondità, e poi a quote sufficientemente alte, divergono lungo i meridiani riversandosi entro le bande e ivi sprofondando con conseguente aumento della temperatura. Però, durante il trasferimento del gas dalle zone verso le bande, a causa della rapida rotazione del pianeta, la forza di Coriolis risulta tanto intensa che le masse vengono fortemente deviate in longitudine lungo i paralleli originando così le correnti comunemente rilevate tra bande e zone. Poiché il moto avviene dalle zone verso le bande e la forza di Coriolis agisce verso destra nell'emisfero nord e verso sinistra nell'emisfero sud, sui limiti nord delle bande settentrionali e delle zone meridionali le correnti sono dirette prevalentemente verso ovest, mentre sui limiti sud delle stesse strutture le correnti sono dirette verso est.

La circolazione è simile alla circolazione tropicale terrestre. Vista dall'esterno, anche la Terra presenta una certa alternanza di bande scure e zone chiare (fig. 8). Una fascia nuvolosa bianca carica di umidità sovrasta la Zona Intertropicale di Convergenza e si snoda lungo l'equatore compresa tra le due bande scure a cui corrisponde invece il cielo sereno sovrastante i tropici. La similitudine con Giove diventa lampante osservando la figura da lontano.

Questo meccanismo determina il trasporto iniziale verso i poli dell'eccesso di calore equatoriale.

Comunque, sulla Terra, l'elevato gradiente termico fra equatore e poli fa sì che a latitudini temperate si generi una complessa instabilità dell'atmosfera chiamata instabilità baroclinica. Questa non permette l'instaurarsi della simmetria a bande esistente a latitudini tropicali e diventa il processo preponderante nel trasporto di calore verso i poli. La nuvolo-

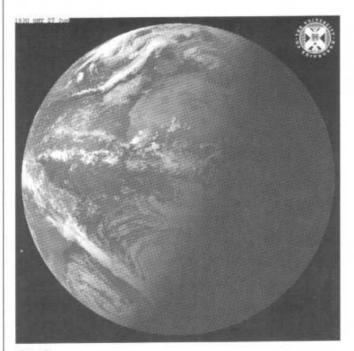


Fig. 8

sità non si presenta più con le tipiche fasce longitudinali, assume invece la caratteristica struttura ondulata chiamata *onda baroclinica*, con campi di alta pressione (bel tempo) e bassa pressione (cattivo tempo) alternantisi in longitudine e determinanti il tempo meteorologico a medie e alte latitudini. In fig. 8 le nuvolosità sull'Atlantico e sull'Asia sono separate da una fascia di sereno che interessa quasi tutta l'Europa.

Seguendo la teoria generale della instabilità baroclinica delle atmosfere planetarie elaborata da Stone (1972), si stima che sull'equatore di Giove la temperatura dovrebbe eccedere di circa 30 K quella sui poli. Le misure infrarosse delle sonde *Pioneer 10* e 11 danno, invece, una differenza di soli 2-3 K (valore deducibile anche dai risultati numerici dell'articolo 1), ben un ordine di grandezza inferiore a quella prevista da Stone.

Poiché su Giove non osserviamo vistose ondulazioni nella conformazione delle bande e zone nasce un importante quesito: l'instabilità baroclinica sul pianeta è assente oppure assume una forma diversa da quella terrestre?

Su alcune delle immagini fornite dalle camere CCD applicate al fuoco dei telescopi amatoriali più potenti, e ovviamente anche su quelle inviate dal *Pioneer 11*, si distinguono parecchie strutture ondulate. A differenza di quelle terrestri, queste sono confinate entro strette fasce latitudinali. Ragionevolmente pensiamo che essendo piccole tali strutture non possono causare vistosi mescolamenti, vale a dire che su Giove l'instabilità baroclinica è molto ridotta e certamente non può costituire il meccanismo preponderante nel trasporto di calore verso i

poli. Quindi a partire dalle medie latitudini molti aspetti dell'atmosfera gioviana cessano di essere simili a quelli delle stesse latitudini sulla Terra in quanto il trasporto per instabilità baroclinica è insignificante.

I vari modelli teorici costruiti per spiegare il mantenimento su Giove della suddetta minima e sistematica differenza termica di 3 K, non possono assumere come causa solo il diverso riscaldamento tra equatore e poli dovuto al differente assorbimento di energia solare, ma inevitabilmente invocano il flusso di calore interno come causa del bilanciamento.

Considerando l'elevata emissione elettromagnetica da parte di Giove, Ingersoll (1975) suppone che il meccanismo di questo bilanciamento sarebbe simile a un termostato: Se il gradiente termico verticale è adiabatico il flusso convettivo è nullo. Se la temperatura decade con l'altezza ad un ritmo superadiabatico il flusso convettivo diventa elevato. Allora il più rapido riscaldamento equatoriale rispetto a quello polare provoca l'innesco del flusso convettivo verso i poli fino a stabilire la condizione adiabatica e a far sì che la relazione tra pressione e temperatura sui poli sia la stessa di quella esistente sull'equatore. In questo meccanismo termostatico la sorgente interna di calore deve avere una potenza tale da poter fornire l'energia necessaria alla circolazione zonebande presupposta nell'articolo 1 e qui sopra commentata. In tale contesto il sistema bande-zone costituisce un gigantesco sistema di celle convettive su scala planetaria (Williams e Robinson, 1973).

Parecchie obiezioni contrastano con tale meccanismo. In primo luogo se bande e zone fossero sistemi convettivi di calore interno su grande scala, il flusso di calore dovrebbe essere molto maggiore nelle zone che nelle bande dato che le prime sono formate da materiale caldo in risalita. Invece le zone presentano la minore emissività infrarossa. Del resto i flussi di radiazione solare assorbito e quello infrarosso emesso risultano maggiori nelle bande che nelle zone; poiché il flusso netto (differenza tra flusso entrante e uscente) è uguale nelle due strutture, è pensabile che alla base delle nuvole il flusso del calore interno sia lo stesso ovunque. In secondo luogo la convezione è un tipico fenomeno che si verifica su piccola scala, come si osserva ad esempio sulla Terra o sul Sole dove i granuli convettivi hanno dimensione dell'ordine dell'altezza di scala dell'atmosfera e ricoprono tutta la superficie solare. Questo potrebbe essere indicativo del fatto che su Giove il sistema convettivo su piccola scala risiede più internamente, nell'atmosfera sottostante lo strato delle nubi e che bande e zone appartengano a questo sistema.

Studi teorici e di laboratorio hanno mostrato che in una sfera rotante la convezione si distribuisce secondo sottili colonne parallele all'asse di rotazione. Busse (1975) ha prospettato che le bande e le

### G. DI GIOVANNI

ne. Busse (1975) ha prospettato che le bande e le zone potrebbero appunto costituire le estremità di queste colonne anche se tali strutture sono state rilevate solo in laboratorio.

Altre teorie non concordano con quella delle celle convettive e nemmeno tra esse, perciò nessuna finora può considerarsi migliore dell'altra e tantomeno conclusiva. Riteniamo che i dati raccolti durante il famoso impatto della cometa Shoemaker-Levy su Giove e quelli inviati dalla sonda *Galileo* faranno certamente più luce questi problemi della dinamica atmosferica gioviana.

#### Conclusione

In conclusione si riassumono tutte le precedenti fondamentali deduzioni nella Tabella (Ingersoll, 1973) e nei successivi quattro punti:

- I movimenti zonali, determinanti i periodi di rotazione osservati, sono regolati dalla condizione di equilibrio geostrofico sussistente praticamente su tutto il pianeta;
- 2) non può essere che l'unico meccanismo provocante tali movimenti sia una decrescita monotona dall'equatore ai poli del riscaldamento solare;
- la rotazione differenziale dell'atmosfera di Giove è originata da deboli gradienti termici orizzontali tra zone e bande;
- la circolazione è ciclonica sulle bande e anticiclonica sulle zone come quella dei venti alise e controalisei, è anticiclonica sulla GRS come nei cicloni terrestri.

#### Ringraziamenti

Questo articolo e il precedente sono emersi dai lavori presentati al XXVIII e al XXIX Congresso dell'Unione Astrofili Italiani tenutisi a Milano nel 1994 e a Salerno nel 1995. L'Autore e i colleghi di Colle Leone ringraziano gli astrofili UAI che hanno fornito le loro osservazioni e G. Adamoli che le ha ordinate e pubblicate. L'Autore è obbligato nei confronti del Prof. G. Favero dell'Università di Padova e del Referee, i quali hanno corretto e migliorato il lavoro. Si esprime un particolare plauso alla reda-

Tab. II - Caratteristiche delle strutture atmosferiche di Giove

	Bande	Zone e macchia rossa
Emissione infrarossa	massima	minima
Temperatura osservata	caldo	freddo
Vorticità osservata in quota	ciclonica	anticiclonica
Pressione in quota	bassa	alta
Velocità verticale	verso il basso	verso l'alto
Altezza delle nubi	basse e sottili	alte e spesse
Vorticità in profondità	anticiclonica	ciclonica

zione di "l'astronomia" per la pubblicazione del volumetto sull'osservazione planetaria e a quanti vi hanno collaborato giacché da esso questo lavoro ha preso spunto.

# Bibliografia

- Busse F. H., Jupiter Conference, Tucson, Arizona, May 19-23 1975.
- Di Giovanni G., Astronomia UAI n.3, p. 4, 1995.
- Gulkis S., Poynter R., Phys. Earth Planetary Interiors, 6, 36, 1972.
- Ingersoll A. P., Science, 182, 1346, 10 sept., 1973.
- Ingersoll A. P., Jupiter Conference, Tucson, Arizona, May 19-23 1975.
- Kowalec Ch., Jupiter, Mittelungen fur Planetenbeobachter 7, 3/4, 47, 1983.
- Mosetti F., Oceanografia. Ed. Del Bianco Udine, 1964.
- Palmén E., Newton C. W., Atmospheric Circulation Systems, Academic Press, New York, London, 1969.
- Reese E. J., Smith B. A., Icarus 9, 474, 1968.
- Stone P. H., J. Atmospheric Sci. 29, 405, 1972.
- Westphal J. A., Mathews K., Terrile R. J., Astrophys. J. 1988, L111, 1974.
- Williams G. P., Robinson J. B., J. Atmospheric Sci. 30, 684, 1973.