

Le oscillazioni solari e le armoniche stabili del sistema solare

Nicola Scafetta

(Dipartimento di Scienze della Terra, dell'ambiente e delle risorse - Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli)

Abstract

Solar activity is characterized by specific oscillations known in the literature as the cycles of Bray–Hallstatt (2100–2500 yr), Eddy (800–1200 yr), Suess–de Vries (200–250 yr), Jose (155–185 yr), Gleissberg (80–100 year), the 55–65 yr cluster, the 40–50 yr cluster and others. Herein I show that these oscillations emerge from a specific set of planetary harmonics - the *orbital invariant inequalities* - produced by the Jovian planets (Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune). The result suggests that solar activity is modulated by harmonic planetary forcings.

Riassunto

L'attività solare è caratterizzata da oscillazioni specifiche conosciute in letteratura come i cicli di Bray – Hallstatt (2100–2500 anni), Eddy (800–1200 anni), Suess – de Vries (200–250 anni), Jose (155–185 anni), Gleissberg (80–100 anni), il cluster 55–65 anni, il cluster 40-50 anni e altri. Qui mostro che queste oscillazioni emergono da un insieme specifico di armoniche planetarie - le *disuguaglianze invarianti orbitali* - prodotte dai pianeti gioviani (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Il risultato suggerisce che l'attività solare è modulata da forzanti planetari armonici.

Introduzione

Quando fu scoperto il ciclo solare di 11 anni, Wolf (1859) comprese bene il problema fisico che tale scoperta poneva e ipotizzò che esso potesse emergere da una influenza planetaria ad opera di Venere, della Terra, di Giove e di Saturno. L'idea fu che un certo tipo di forzanti periodici collegati al movimento orbitale dei pianeti (ad esempio, maree gravitazionali) potessero sincronizzare la dinamica interna del Sole facendola variare armonicamente a frequenze specifiche.

La teoria è sempre stata presa con un certo scetticismo perché la distanza dei pianeti dalla nostra stella è così grande che le maree gravitazionali



indotte da quest'ultimi sulla superficie del Sole sono così piccole - cioè dell'ordine del millimetro - da essere ritenute del tutto trascurabili: vedi, ad esempio, la discussione in Scafetta (2012a). Tuttavia, nessuno finora è riuscito a spiegare il perché l'attività solare oscilli con un ciclo intorno agli 11 anni. Questo ciclo solare è noto nella letteratura scientifica come il ciclo delle macchie solari di Schwabe.

Infatti, le più moderne teorie sulla dinamo solare ci assicurano che l'attività del sole dovrebbe oscillare, ma non ci dicono che essa debba oscillare con il periodo e la fase osservati (Tobias, 2002). Questi modelli vengono opportunamente calibrati per ottenere qualcosa che vagamente rassomiglia alla realtà (Jiang et al., 2007). L'inabilità di questi modelli nello spiegare il ciclo principale osservato nell'attività solare è riconosciuto anche dagli stessi critici di un influsso astronomico sul sole (de Jager and Versteegh, 2005). Quindi, cosa sta inducendo il Sole ad oscillare con un periodo, per giunta variabile, intorno agli 11 anni rimane un grande mistero.

Negli ultimi 50 anni tanti progressi sono stati fatti e hanno accresciuto le nostre conoscenze riguardo l'attività solare. E' stato scoperto, ad esempio, che il ciclo solare di 11 anni è solo quello più evidente. Esso in realtà è un ciclo variabile, come detto. Sono stati osservati anche lunghi periodi in cui esso era pressoché scomparso come durante il grande minimo solare di Maunder dal 1645 al 1715; periodo durante il quale i clima sulla Terra si è raffreddato (Eddy, 1976).

Ulteriori studi hanno determinato che oltre al ciclo di 11 anni delle macchie solari di Schwabe e quello magnetico ad esso associato di 22 anni di Hale, l'attività solare è caratterizzata da diverse oscillazioni più lunghe che sono oggi note nella letteratura scientifica come il ciclo di Bray-Hallstatt (2100–2500 anni), di Eddy (800–1200 anni), di Suess–de Vries (200–250 anni), di Jose (155–185 anni), di Gleissberg (80–100 anni), i cicli di 55–65 anni ed altri: vedi le numerose citazioni in Scafetta (2020). Identiche oscillazioni sono osservate anche nei record climatici: cosa che suggerisce uno stretto legame tra la variabilità solare e il clima.



Tutto questo, ovviamente, rende questa ricerca non solo affascinante da un punto di vista astrofisico, ma anche molto utile al fine di prevedere almeno una componente importante dei cambiamenti climatici: vedi, ad esempio, le analisi proposte in Neff et al. (2001), Kerr (2001), Ogurtsov et al. (2002), Steinhilber et al. (2012) e altri studi inclusi i miei.

Quindi, comprendere la dinamica solare è diventato sempre più importante e, soprattutto a causa dell'inabilità dei modelli solari tradizionali di spiegare le osservazioni, nell'ultimo ventennio diversi lavori sono apparsi riproponendo, modernizzandola, l'idea di Wolf del 1859 di un legame tra la variabilità solare e i moti planetari che appaiono essere gli unici in grado di generare forzanti armonici.

Le evidenze sperimentali di un influsso planetario sull'attività solare vanno dalla scoperta che diverse fiammate solari ed altri fenomeni di una certa intensità sono avvenuti durante specifici allineamenti planetari (Hung, 2007; Bertolucci et al., 2017; Morner et al. 2015), alla constatazione che esiste una certa affinità tra lo spettro dei dati solari con le funzioni dedotte dai moti orbitali come, ad esempio, il moto del sole relativo al centro di massa del sistema solare che deve essere però capito come un proxy (Fairbridge e Shirley, 1987; Abreu et al., 2012; Scafetta and Willson, 2013; Scafetta et al., 2016; e altri).

Nell'ultimo mio lavoro (Scafetta, 2020) credo di avere identificato con precisione le armoniche planetarie rilevanti per spiegare il fenomeno. Queste derivano dai cicli sinodali dei grandi pianeti gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) e dalle loro combinazioni. La principale caratteristica fisica di queste armoniche è quella di essere invarianti rispetto a qualunque sistema di riferimento ruotante come il sole e l'eliosfera. Proprietà questa necessaria per attivare i processi di sincronizzazione tra un debole forzante armonico esterno e un sistema dinamico oscillante, come inizialmente scoperto da Huygens nel XVII secolo il quale fu impressionato dalla mutua sincronizzazione di due pendoli attaccati allo stesso muro che dopo un pò iniziavano a oscillare nello stesso modo (Strogatz, 2009). Per queste loro proprietà, queste



oscillazioni planetarie sono state da me chiamate le *disuguaglianze invarianti orbitali*.

Le disuguaglianze invarianti orbitali dei pianeti gassosi

In questo paragrafo richiamiamo brevemente la definizione di queste armoniche mentre ulteriori dettagli possono essere trovati in Scafetta (2020).

In meccanica celeste, date due armoniche di periodo T_1 e T_2 e due interi n_1 e n_2 , si dice che esiste una risonanza se $T_1/T_2=n_1/n_2$. In generale, questa identità non è vera e si definisce una *disuguaglianza* con frequenza f e periodo T come:

$$f = \frac{1}{T} = \left| \frac{n_1}{T_1} - \frac{n_2}{T_2} \right|. \quad (1)$$

I casi più semplici dedotti dall'equazione (1) sono i periodi di congiunzione tra due pianeti, detti anche periodi sinodali, che sono definiti come un battimento, cioè come:

$$f_{12} = \frac{1}{T_{12}} = \left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|. \quad (2)$$

La tabella 1 mostra i periodi sinodali tra i quattro pianeti gassosi (Giove, saturno, Urano e Nettuno) con le relative fasi temporali medie più vicine all'anno 2000.



Orb. Inv. Ineq.	Period (yr)	Julian Date	Long.
Jup–Sat	(1, -1, 0, 0)	19.8593	2451718.4
Jup–Ura	(1, 0, -1, 0)	13.8125	2450535.8
Jup–Nep	(1, 0, 0, -1)	12.7823	2450442.1
Sat–Ura	(0, 1, -1, 0)	45.3636	2447322.1
Sat–Nep	(0, 1, 0, -1)	35.8697	2447725.6
Ura–Nep	(0, 0, 1, -1)	171.393	2449098.1

Tabella 1: Periodi sinodali dei pianeti gassosi.

L’equazione 2 può essere generalizzata per un numero n di armoniche come:

$$f = \frac{1}{T} = \left| \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T_i} \right|, \quad (3)$$

dove a_i sono numeri interi. Tra tutte le possibili *disuguaglianze* orbitali date dall’equazione (3), ne esiste un ristretto sottoinsieme che è definito dalla condizione:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 0. \quad (4)$$

Ad esempio, i periodi sinodali (Eq. 2) fanno parte di questo sottoinsieme. La condizione imposta dall’equazione (4) è molto importante perché definisce un insieme di armoniche invarianti rispetto ad un sistema ruotante com’è il Sole e l’eliosfera. Infatti, dato un sistema di riferimento ruotante centrato nel Sole con periodo P , i periodi orbitali visti da esso sono dati da:

$$f'_i = \frac{1}{T'_i} = \frac{1}{T_i} - \frac{1}{P}. \quad (5)$$



Quindi, rispetto a questo sistema di riferimento ruotante, le *disuguaglianze orbitali* sono date da

$$f' = \frac{1}{T'} = \left| \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T'_i} \right| = \left| \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T_i} - \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{P} \right|. \quad (6)$$

Se la condizione dell'equazione 4 è imposta, si ha che $f'=f$ e $T'=T$. Quindi, questo set di *disuguaglianze orbitali* rimane costante indipendentemente dal sistema di riferimento ruotante da cui si osservano. In altre parole, ad esempio, la congiunzione di due pianeti è un evento che viene osservato in modo equivalente in tutti i sistemi ruotanti centrati nel Sole. Per questa loro proprietà fisica, le *disuguaglianze orbitali* definite dalla condizione data dall'equazione (4) sono state definite come *invarianti*.

La Tabella 2 riporta le *disuguaglianze invarianti orbitali* generate dai pianeti gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Esse sono elencate usando il formalismo:

$$T = (a_1, a_2, a_3, a_4), \quad (6)$$

dove a_1 , a_2 , a_3 e a_4 sono numeri interi tali che la loro somma dà zero, secondo l'equazione (4). Ogni indice si riferisce ad un pianeta gassoso secondo l'ordine usuale da Giove a Nettuno.



(Jup, Sat, Ura, Nep)	(M , K)	T (year)	cluster
(1, -3, 5, -3)	(5, 6)	42.1	~ 45 yr
(0, 0, 4, -4)	(4, 4)	42.8	
(2, -5, 1, 2)	(5, 5)	43.7	
(1, -3, -3, 5)	(5, 6)	43.7	
(1, -2, 0, 1)	(2, 2)	44.5	
(0, 1, -1, 0)	(1, 1)	45.4	
(1, -4, 2, 1)	(4, 4)	46.3	
(1, -1, -5, 5)	(5, 6)	47.2	
(1, -3, 4, -2)	(4, 5)	55.8	~ 60 yr
(0, 0, 3, -3)	(3, 3)	57.1	
(2, -5, 0, 3)	(5, 5)	58.6	
(1, -3, -2, 4)	(4, 5)	58.6	
(1, -2, -1, 2)	(2, 3)	60.1	
(0, 1, -2, 1)	(2, 2)	61.7	
(1, -4, 3, 0)	(4, 4)	63.4	
(1, -3, 3, -1)	(3, 4)	82.6	Gleissberg
(0, 0, 2, -2)	(2, 2)	85.7	
(2, -5, -1, 4)	(5, 6)	89.0	
(1, -3, -1, 3)	(3, 4)	89.0	
(1, -2, -2, 3)	(3, 4)	92.5	
(0, 1, -3, 2)	(3, 3)	96.4	
(1, -4, 4, -1)	(4, 5)	100.6	
(1, -3, 2, 0)	(3, 3)	159.6	Jose
(0, 0, 1, -1)	(1, 1)	171.4	
(2, -5, -2, 5)	(5, 7)	185.1	
(1, -3, 0, 2)	(3, 3)	185.1	
(1, -2, -3, 4)	(4, 5)	201.1	Suess-de Vries
(0, 1, -4, 3)	(4, 4)	220.2	
(1, -4, 5, -2)	(5, 6)	243.4	
(0, 1, -5, 4)	(5, 5)	772.7	Eddy
(1, -2, -4, 5)	(5, 6)	1159	
(1, -3, 1, 1)	(3, 3)	2318	Bray-Hallstatt

Tabella 2: Le disugualianze invarianti orbitali dei pianeti gassosi fino agli ordini M (= massimo valore a_i) e K (= metà della somma di $|a_i|$).



Le armoniche sono divise in cluster o gruppi che richiamano le oscillazioni solari note nella letteratura scientifica e che sono state elencate sopra nell'Introduzione. Le stesse armoniche sono mostrate anche nella Figura 1 e rivelano una struttura armonica con periodo base di 179.2 anni. Questo periodicità corrisponde ad una frequenza di 0.00558 1/anni e l'armonica risultante è conosciuta come il ciclo di Jose (1965).

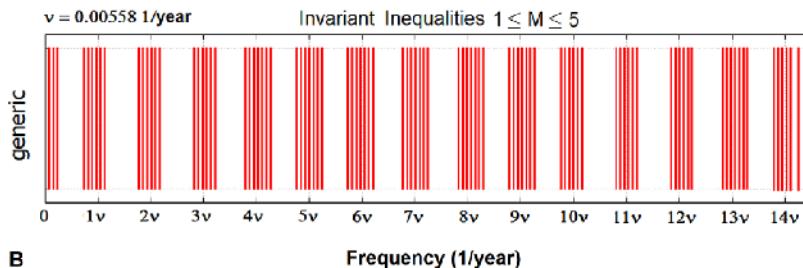


Figura 1: Le *disuguaglianze invarianti orbitali* dei pianeti gassosi. Nota i clusters strutturati secondo una serie armonica basata sul ciclo di Jose.

Le armoniche sono state elencate usando due indici M e K . Quello qui più importante è l'indice K che è uguale alla metà della somma dei valori assoluti dei coefficienti a_i che formano un'armonica. Poiché l'equazione 4 deve valere, è facile rendersi conto che l'indice K indica il numero delle frequenze sinodali tra i pianeti gassosi che compongono tali *disuguaglianze invarianti orbitali*.

Ad esempio, il ciclo $(1, -3, 1, 1)$ ha $K=3$ e può essere scomposto in tre cicli sinodali in quanto è equivalente a $(1, -1, 0, 0) - (0, 1, -1, 0) - (0, 1, 0, -1)$. Quindi, esso è un battimento ottenuto dalla combinazione dei cicli sinodali di Giove-Saturno, Saturno-Urano e Saturno-Nettuno. Nello stesso modo è possibile scomporre ogni *disuguaglianza invariante orbitale*. Quindi, queste armoniche sono i battimenti dei cicli sinodali e possono essere tutte ottenute usando i periodi e le fasi temporali elencati nella Tabella 1. L'importanza fisica delle armoniche elencate nella Tabella 2 è mostrata in Figura 2 che confronta una ricostruzione della variabilità solare dedotta dal record di $\Delta^{14}\text{C}$ ed una ricostruzione climatica dedotta da un record di



$\delta^{18}\text{O}$ da 9500 a 6000 anni fa: adattato da Neff et al. (2001).

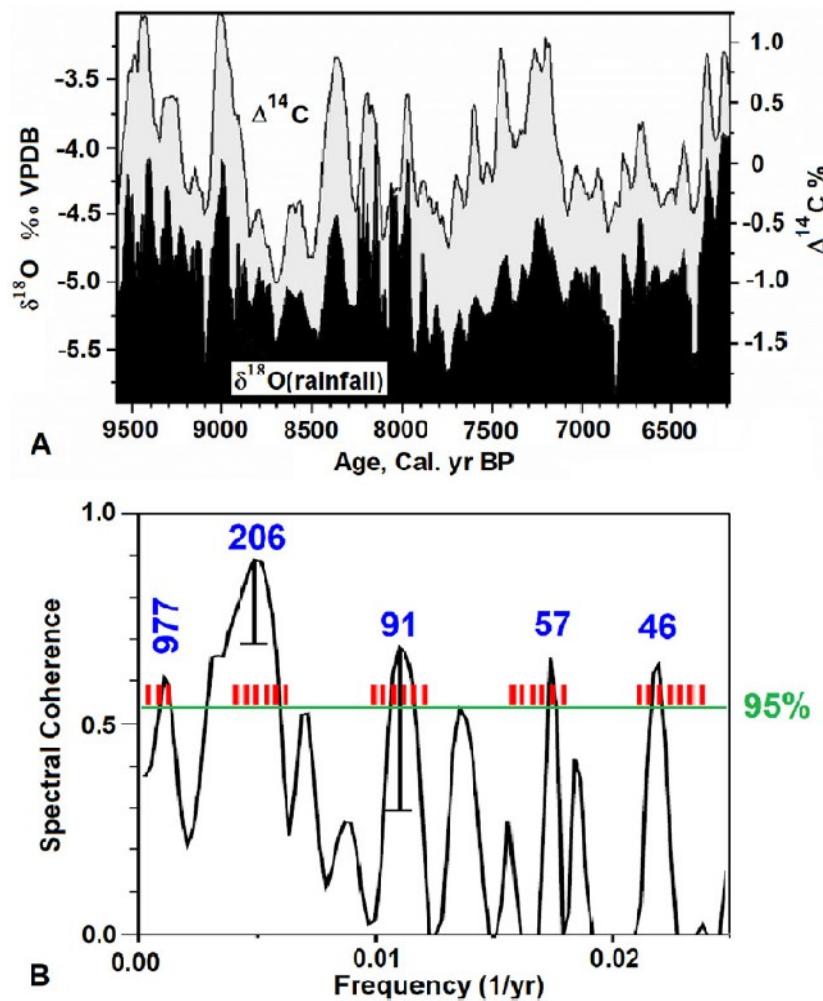


Figura 2: Frequenze solari e climatiche confrontate con le *disuguaglianze invarianti orbitali*.

I due record sono fortemente correlati e presentano numerosi frequenze comuni che corrispondono ai cicli di Eddy (800–1200 anni), Suess – de Vries (200–250 anni), Jose (155–185 anni), Gleissberg (80–100 anni), il cluster 55–65 anni, il cluster 40–50 anni e altri. In Figura 2B i picchi



spettrali comuni nei due record sono poi confrontati con le *disuguaglianze invarianti orbitali* (barre rosse) mostrate in Figura 1 ed elencate nella Tabella 2. La Figura 2 mostra che il modello orbitale prevede perfettamente tutte le frequenze principali osservate nei dati solari e climatici per millenni.

Questo lo si può mostrare più esplicitamente ricostruendo direttamente il grande ciclo di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni) che secondo il modello orbitale proposto sarebbe riprodotto dalla *disuguaglianza invariante orbitale* (1,-3,1,1) che ha un periodo di 2318 anni. Questo ciclo è stato studiato in dettaglio in McCracken et al. (2013) (Figura 3) e in Scafetta et al. (2016).

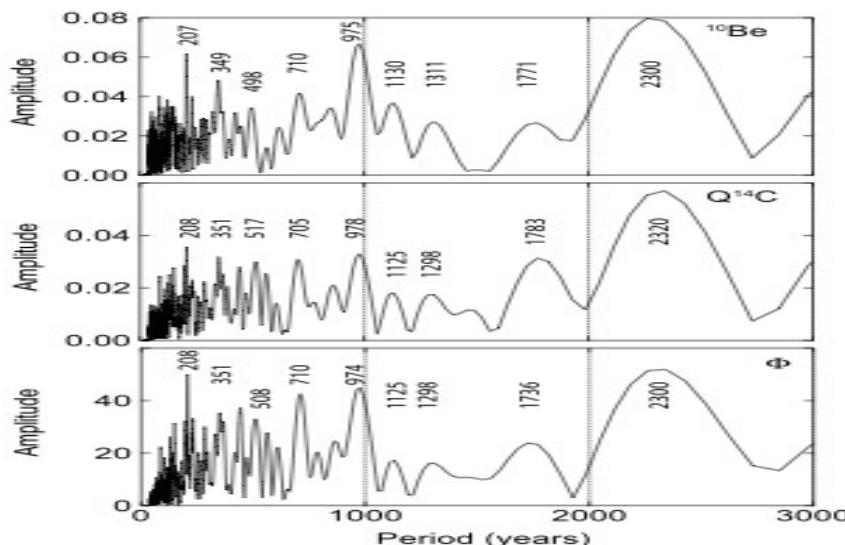


Figura 3: Cicli di Eddy (800-1200 anni) e di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni) in tre alternativi record solari: da McCracken et al. (2013).



Seguendo le equazioni mostrate in Scafetta (2020), la ricostruzione completa del ciclo di Bray–Hallstatt (curva rossa in B) usando la *disuguaglianza invariante orbitale* (1,-3,1,1) (curva blu in A e B) è mostrata in Figura 4.

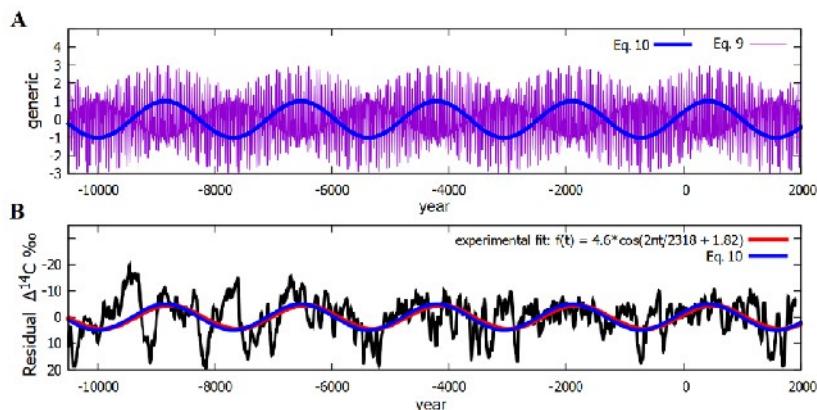


Figura 4: Ricostruzione del ciclo di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni) (curva rossa in B) usando la *disuguaglianza invariante orbitale* (1,-3,1,1) (curva blu in A e B). Dettagli in Scafetta (2020).

Conclusione

I dati relativi alla variabilità solare e quelli climatici degli ultimi 11000 anni mostrano una variabilità altamente correlata e caratterizzata da un numero di armoniche comuni come il ciclo di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni), di Eddy (800–1200 anni), di Suess–de Vries (200–250 anni), di Jose (155–185 anni), di Gleissberg (80–100 anni), i cicli di 55–65 anni ed altri. Sopra abbiamo visto che tutte queste armoniche sono predette da un insieme di frequenze orbitali chiamate le *disuguaglianze invarianti orbitali*. Queste frequenze derivano dai cicli sinodali dei grandi pianeti gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Queste armoniche hanno un significato fisico importante perché essendo invarianti rispetto a ogni sistema di riferimento hanno la potenzialità di sincronizzare la dinamo solare inducendo l'attività solare a sincronizzarsi con essa.

Lo studio di Scafetta (2020) complementa altri studi, inclusi alcuni i suoi,



dove si propongono modelli planetari in grado di predire il ciclo solare di 11 anni, questa volta usando le armoniche orbitali prodotte da Venere, Terra, Giove e Saturno come già Wolf intuì nel lontano 1856: vedi le discussioni dettagliate in Scafetta (2012a, 2012b, 2014).

Le critiche comuni vertono perlopiù sul meccanismo fisico attraverso il quale i pianeti potrebbero influenzare l'attività solare. Anche se al momento il problema fisico non è pienamente risolto, la critica appare debole perché non dimostra l'inesistenza del meccanismo ma solo il fatto che al momento è sconosciuto. Infatti, nessun modello solare che assume la nostra stella come un corpo isolato dal resto del sistema solare è stato capace di spiegare i cicli solari osservati.

Alternativamente, è del tutto possibile che l'effetto delle piccole maree gravitazionali dei pianeti sul Sole siano amplificate fino ad un milione di molte e più, da meccanismi interni di fusione nucleare (vedi il modello proposto in Scafetta, 2012a) e/o che configurazioni planetarie periodiche modulino flussi di materia interna o esterna al sistema solare che, cadendo sul Sole, ne stimolino l'attività: vedi anche Bertolucci et al. (2017). Inoltre, i processi di sincronizzazione armonica sono attivabili anche da deboli forzanti oscillanti.

In conclusione, credo che le evidenze tuttora raccolte mostrino in un modo sufficientemente convincente che l'attività solare è modulata dalle armoniche planetarie. Infine, queste stesse armoniche sono osservate anche nei cambiamenti climatici per capire i quali è, quindi, necessario comprendere bene non solo come il Sole si comporta ma anche la fisica del sistema solare e di come i flussi di materia si muovono nel suo interno.

Referenze

- Abreu, J.A., Beer, J., Ferriz-Mas, A., McCracken, K.G., Steinhilber, F.: 2012, Is there a planetary influence on solar activity? *Astron. Astrophys.* 548, A88.
- Bertolucci, S., Zioutas, K., Hofmann, S., Maroudas, M.: 2017, The Sun and its planets as detectors for invisible matter. *Phys. Dark Universe* 17, 13.
- de Jager, C., Versteegh, G.J.M.: 2005, Do planetary motions drive solar



- variability? *Solar Physics* 229, 175–179.
- Eddy, J.A.: 1976, The maulder minimum. *Science* 192, 1189.
- Fairbridge, R.W., Shirley, J.H.: 1987, Prolonged minima and the 179-yr cycle of the solar inertial motion. *Solar Phys.* 110, 191.
- Hung, C.-C.: 2007, Apparent relations between solar activity and solar tides caused by the Planets. NASA report/TM-2007-214817.
- Kerr, R.A.: 2001, A variable Sun paces millennial climate. *Science* 294, 1431.
- Jiang, J., Chatterjee, P., Choudhuri, A.R.: 2007, Solar activity forecast with a dynamo model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 381, 1527–1542.
- Jose, P.D.: 1965, Sun's motion and sunspots. *Astrophys. J.* 70, 193.
- McCracken, K.G., Beer, J., Steinhilber, F., Abreu, J.: 2013, A phenomenological study of the cosmic ray variations over the past 9400 years, and their implications regarding solar activity and the solar dynamo. *Solar Phys.* 286, 609.
- Mörner, N.-A., Scafetta, N., Solheim, J.-E.: 2015, The January 7 giant solar flare, the simultaneous triple planetary conjunction and additional records at Tromsø, Northern Norway. In: Mörner, N.-A. (ed.) *Planetary Influence on the Sun and the Earth, and a Modern Book-Burning*. Nova, New York. ISBN-10:
1634828372.
- Neff, U., Burns, S.J., Mangini, A., Mudelsee, M., Fleitmann, D., Matter, A.: 2001, Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago. *Nature* 411, 290.
- Ogurtsov, M.G., Nagovitsyn, Y.A., Kocharov, G.E., Jungner, H.: 2002, Long-period cycles of the Sun's activity recorded in direct solar data and proxies. *Solar Phys.* 211, 371.
- Scafetta, N.: 2012a, Does the Sun work as a nuclear fusion amplifier of planetary tidal forcing? A proposal for a physical mechanism based on the mass-luminosity relation. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 81–82, 27.
- Scafetta, N.: 2012b, Multi-scale harmonic model for solar and climate cyclical variation throughout the Holocene based on Jupiter–Saturn tidal



- frequencies plus the 11-year solar dynamo cycle. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 80, 296.
- Scafetta, N.: 2014, Discussion on the spectral coherence between planetary, solar and climate oscillations: A reply to some critiques. *Astrophys. Space Sci.* 354, 275.
- Scafetta, N.: 2020, Solar Oscillations and the Orbital Invariant Inequalities of the Solar System. *Solar Physics* 295:33.
- Scafetta, N., Milani, F., Bianchini, A., Ortolani, S.: 2016, On the astronomical origin of the Hallstatt oscillation found in radiocarbon and climate records throughout the Holocene. *Earth-Sci. Rev.* 162, 24.
- Scafetta, N., Willson, R.C.: 2013b, Empirical evidences for a planetary modulation of total solar irradiance and the TSI signature of the 1.09-year Earth–Jupiter conjunction cycle. *Astrophys. Space Sci.* 348, 25.
- Steinhilber, F., Abreu, J.A., Beer, J., et al.: 2012, 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, 5967.
- Strogatz, S.H.: 2009, Exploring complex networks. *Nature* 410, 268.
- Tobias, S.M.: 2002, The solar dynamo. *Philosophical Transactions on the Royal Society A* 360 (1801), 2741–2756.
- Wolf, R.: 1859, Extract of a Letter from Prof. R. Wolf, of Zurich, to Mr. Carrington, dated Jan. 12, 1859. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 19, 85.

