

ANTONIO VEGGIANI

ALLINEAMENTI PLANETARI,  
MACCHIE SOLARI E SISMICITÀ  
NELLE RICERCHE DI  
RAFFAELE BENDANDI (1893 - 1979)

*1. Premessa*

Raffaele Bendandi nacque a Faenza (Ravenna) il 17 ottobre 1893. Di modeste condizioni familiari e finanziarie non gli fu possibile frequentare corsi scolastici superiori. Fu così preso dalla necessità di mettersi al lavoro giovanissimo, in un primo tempo come garzone di un orologiaio e successivamente come intagliatore di legno fabbricando giocattoli, ma anche statue sacre, molte delle quali sono finite in diverse chiese.

La tendenza naturale del Bendandi era però rivolta allo studio dell'astronomia e della geodinamica e in particolare allo studio e previsione dei terremoti, tema molto dibattuto a quell'epoca. A questo proposito si mise a contatto con numerosi centri di studio per poter dotare la sua biblioteca di libri, riviste, rapporti e cataloghi per essere informato sullo stato della ricerca in Italia e nel mondo. Bendandi, quindi, si dotò di una base scientifica per poter dare un impulso più vasto e completo alle sue ricerche, tenendo sempre presente lo stato delle indagini su questo argomento nel mondo. Una visita al suo archivio e alla biblioteca posta nella casa-laboratorio di via Manara, n. 17, a Faenza, ora sede dell'Istituzione Culturale "La Bendandiana" (1), può confermare quanto è stato qui sopra asserito.

1) M. MATTINA (a cura di), *Raffaele Bendandi (1893-1979)*, Faenza 1987. Il Prof. Mattina ha raccolto in questo volume gli atti dell'incontro avvenuto con il gruppo "Amici di Bendandi" nella sala delle conferenze, nella casa ex Bendandi, ora Museo, con annesso Planetario ed Osservatorio Sismologico Comunale e sede della "Bendandiana", il giorno 28 maggio 1987.

Bendandi era un autodidatta, ma con il passare degli anni era riuscito a raffinare i suoi lavori sulla base di calcoli matematici e sperimentali, con elaborazioni di calcolo manuale che raffrontate a quanto si può fare oggi con le metodologie computerizzate, fanno certamente pensare al tempo impiegato dal Bendandi per impostare le sue equazioni ed ottenerne le soluzioni. Questi calcoli dovevano più volte essere ripetuti e controllati per evitare errori che si possono in qualche modo prevedere quando tutto viene svolto manualmente.

I primi appunti del Bendandi sono del 1909 quando inaugurò un «Osservatorio astronomico per gli studi sulle macchie solari». Nel 1915 fondò un primo «Osservatorio Geodinamico per lo studio e le previsioni dei terremoti», con strumenti ideati e costruiti dallo stesso Bendandi (2). Nasceva in Bendandi l'idea che vi fosse una qualche correlazione tra attività solare e i fenomeni geodinamici sulla Terra.

È ormai certo che il sole varia nel corso dei secoli e che queste variazioni influiscono sulla temperatura della Terra. In un ciclo, che in media è di undici anni, il sole passa da un aspetto quasi privo di segni distintivi ad uno maculato di chiazze scure, per poi ritornare di nuovo all'aspetto uniforme. Sebbene le macchie solari fossero da lungo tempo note agli astronomi cinesi ed agli antichi Greci, la loro riscoperta da parte di Galileo Galilei agli inizi del Seicento, segnò l'avvio dell'astronomia moderna. Le macchie solari sono solo un sintomo di mutamenti assai più importanti di tutta l'attività solare. Quando sono presenti molte macchie solari, il sole è più attivo ed il flusso di particelle energetiche che invia nello spazio, il cosiddetto «vento solare», è potente e a raffiche.

Quando invece ci sono poche macchie, il sole è tranquillo e il vento solare più calmo.

La misura dell'attività delle macchie solari è data dal *Numero di Wolf*, dal nome di Rudolf Wolf direttore nel 1848 dell'Osservatorio di Berna e successivamente di quello di Zurigo. Questi numeri si riferiscono al numero di gruppi presenti in un determinato giorno sull'emisfero osservabile del Sole, sia al numero di macchie.

Il seguito alla rotazione del sole (il periodo sinodico di rotazione è di 27,275 giorni, mentre l'effettiva rotazione siderale dura 25,380 giorni) i gruppi maggiori di macchie solari si trovano ciclicamente sul

2) F. GABICI, *Raffaele Bendandi, I grandi di Romagna*, a cura di M. Tedeschi, Bologna 1990, pp. 25-26; P. LAGORIO e A. DOLCINI, (a cura di), *L'uomo dei terremoti, Raffaele Bendandi*, Faenza 1992, pp. 23-24.

suo lato rivolto verso la Terra, dove rimangono visibili 13-14 giorni per poi rimanere nascosti altrettanto a lungo.

Si dispone oggi di una serie completa ed omogenea dei numeri giornalieri di Wolf ad iniziare dal 1818. Dal 1749 si dispone invece di medie mensili, mentre per la prima metà del Settecento solo medie annuali. Poco si sa sull'andamento del ciclo solare nel Seicento, sebbene osservazioni telescopiche di macchie solari siano state effettuate fino dal 1611. Per il periodo pretelescopico, si hanno cataloghi di osservazioni basati soprattutto su cronache di dinastie orientali che, anche se discontinue, sono preziose nel tentare di scoprire variazioni a lungo periodo dell'attività delle macchie solari (3).

Per convenzione, l'epoca di inizio di un ciclo corrisponde alla sua prima fase di minimo. I cicli vengono numerati, secondo un accordo universalmente accettato, attribuendo il n. 1 a quello iniziato nel 1755, ciclo per cui sono disponibili medie mensili (Fig. 1).

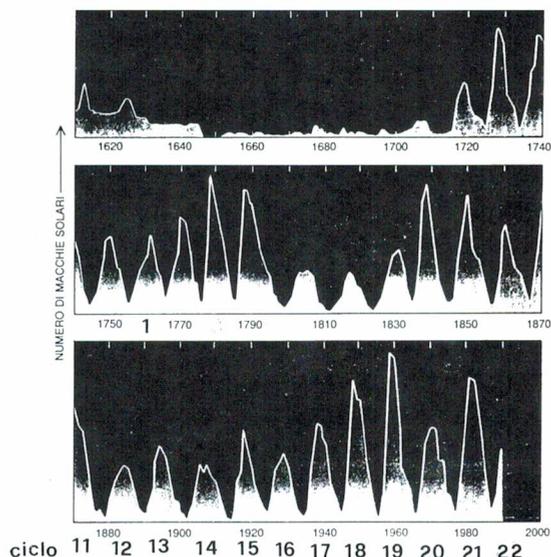


Fig. 1. Successione dei cicli undecennali delle macchie solari nel periodo 1600-1986. Con il n. 1 è stato indicato il ciclo iniziato nel 1755.

Da: Foukal, 1990.

3) G. GODOLI, *Il sole*, Torino 1988, cfr. pp. 234-253.

Il tempo impiegato per passare in ciascun ciclo dal valore minimo al valore massimo e viceversa (intervallo di tempo tra due minimi) dai dati ora a disposizione, può variare da 8 a 15 anni. La durata media del ciclo è comunque di 11,04 anni.

Oltre al regolare ciclo delle macchie solari, esistono anche altre serie di supercicli, con ciclicità dell'ordine delle decine e delle centinaia di anni. A volte ci sono poche macchie anche nell'anno di massima attività del ciclo. In altri cicli, l'attività di picco raggiunge valori molto elevati. La ciclicità undecennale comunque viene conservata (4), anche se i valori di picco sono molto modesti fino ad essere difficilmente rilevabili.

La presenza, a distanza di tempo, di periodi di attività del Sole molto elevata o molto bassa, è stata in qualche modo dimostrata, ma poco o nulla si sa sulle cause di questo andamento. Ne risulta quasi sempre che anche le previsioni dettagliate sui numeri di Wolf del ciclo successivo a quello già svoltosi, sono molto spesso errate. Infatti al regolare ciclo undecennale delle macchie solari (*Ciclo di Schwabe*), si ha un andamento dell'attività a più lungo termine di 22 anni (*Ciclo di Hale*), 45 anni (*Doppio Ciclo di Hale*), 80-90 anni (*Ciclo di Wolf-Gleissberg*) ed altri ancora, tra i quali uno molto importante dell'ordine di 200 anni, che interferendosi fanno variare il numero di Wolf da un ciclo all'altro.

L'attività solare comunque appare come un insieme di fenomeni elettromagnetici che coinvolgono moti turbolenti di variazione del gas che costituisce l'ambiente in cui essi si verificano, dando luogo a manifestazioni secondarie, come getti di gas ionizzato, elettroni, nucleoni e nuclei accelerati, raggi X, energie luminose in quantità anomale e radioonde.

Sono collegati alle macchie solari anche i cosiddetti *brillamenti* od *eruzioni (flares)* sede di emissione principalmente di raggi X.

Più di 120 anni fa, il 1° settembre 1859, durante una osservazione visuale della fotosfera (lo strato del sole visibile ad occhio nudo o con normali telescopi), venne per la prima volta rilevata, sopra un notevole gruppo di macchie, una struttura brillante. La struttura rimase chiaramente visibile per circa sette minuti. Il fatto che 17 ore più tardi iniziasse sulla Terra una intensa tempesta geomagnetica, e

4) C. LAMBERTI, *Minimo di Maunder. La periodicità fu conservata*, «L'Astronomia», n. 140, febbraio 1994, pp. 10-11.

che il giorno dopo venisse osservata un'aurora polare, dimostra oggi che doveva trattarsi di un brillamento (5).

Per studiare l'attività solare nel passato, anteriore al XVII sec. d.C., si sono prese in considerazione le aurore polari risultate dai documenti storici, i primi dei quali risalgono alla seconda metà del VII sec. a.C.. Se, come sembra certo, le aurore polari variano con il ciclo solare e segnano le stesse vicissitudini dell'attività solare, si può allora ritrovare la periodicità undecennale. Lo sfasamento che si può notare può dipendere dal fatto che i gruppi di macchie solari originano le aurore polari solo dopo un certo tempo che questi gruppi sono comparsi (6).

Le radiazioni corpuscolari emesse da un brillamento solare raggiungono generalmente la Terra con un ritardo di circa 26 ore. Queste radiazioni interferiscono con le fasce della ionosfera. Le particelle accumulate in queste fasce vengono espulse verso l'atmosfera terrestre nella quale danno origine, a quote comprese fra 70 e 1000 Km., con un massimo che va da 100 a 110 Km, alle aurore polari (sia boreali che australi). A causa del campo magnetico terrestre, solo attraversando le zone circostanti i poli magnetici, le particelle elettricamente cariche possono penetrare nell'atmosfera della quale ionizzano gli atomi, originando quindi le luci polari.

Le aurore polari si manifestano sotto le forme più svariate, come diffusi veli rossastri, lunghe e mobili bande e righe verdastre, blu o rossastre, a forma di drappaggi e fasci di raggi.

Le aurore polari sono visibili principalmente attorno alle zone polari della Terra, ma nei periodi più intensi di attività solare compaiono anche a latitudini più basse, in Europa e in Italia centro-settentrionale.

Come si è detto, il ciclo delle aurore polari ha un andamento che segue quello delle macchie solari, anche se sfasato. Si trova infatti una maggiore abbondanza di brillamenti quando il ciclo delle macchie solari è in fase crescente.

Gli strati ionosferici, per mezzo dei quali sono possibili le trasmissioni radio su lunghe distanze, esistono in quanto sono generati dall'assorbimento della radiazione ultravioletta e dai raggi X del Sole.

La ionosfera consiste infatti di singoli strati nei quali gli elettroni

5) GODOLI, cit., cfr. p. 107, p. 198.

6) M. R. ATTOLINI, S. CECCHINI, G. BOVINO, G. CINI CASTAGNOLI, M. GALLI E T. NANI, *Le relazioni Terra-Sole*, «Acqua, Aria», n. 2 (1988), pp. 227-240.

relativamente più abbondanti si sono formati in seguito all'assorbimento di raggi ad alta energia o di raggi ultravioletti di breve lunghezza d'onda provenienti dal Sole. Gli strati ionosferici sono inoltre responsabili del fenomeno della diffusione delle onde corte da 10 a 100 metri che sono riflesse dagli strati della ionosfera, ritornando verso la Terra, se sono emesse da trasmettitori terrestri. Queste onde sul suolo vengono ancora riflesse, per cui con un percorso a zig-zag giungono in qualunque parte della Terra (7).

Il fenomeno descritto dipende, oltre che dalla lunghezza d'onda, anche dall'epoca e dall'attività del Sole.

L'intensa radiazione X che viene prodotta nei brillamenti solari oltrepassa gli strati superiori ionosferici e va a rafforzare, all'altezza di circa 80 km, lo strato più alto della stratosfera. Questo strato assorbe le onde medie che non sono più riflesse negli strati ionosferici superiori.

Il temporaneo rafforzamento dello strato posto nella parte più alta della stratosfera provoca anche il totale annullamento nella ricezione delle onde corte. Le onde più lunghe, invece, con lunghezza d'onda di parecchie migliaia di metri, presentano, per il medesimo effetto, un rafforzamento.

In occasione delle aurore polari, in corrispondenza dei massimi di attività del sole, c'è una forte interferenza con le comunicazioni radio e con quelle via satellite, oltre che con le linee elettriche e con alcuni sistemi di difesa. La capacità di prevedere l'intensità della attività del sole diventa sempre più importante via via che le attività umane si estendono alle regioni polari e nello spazio (8).

Si può ricordare, per esempio, che il vento solare influisce sull'atmosfera, comprimendola quando esso è particolarmente intenso e lasciandola espandere quando è più debole. Questa ultima scoperta si rivelò fatale per il progetto americano del satellite Skylab. Il laboratorio era stato posto in orbita ad una altezza di 432 Km dalla superficie terrestre. La NASA aveva programmato il lancio in corrispondenza dell'inizio di un periodo di quiete nell'intensità solare al fine di rendere minimi i rischi di irradiazione per gli equipaggi, ma si rese conto troppo tardi che la situazione rappresentava una minaccia per il laboratorio spaziale. Non appena l'attività solare si ridusse,

7) J. HARRMANN, *Atlante di astronomia*, Milano 1992, pp. 95-105.

8) S. I. AKASOFU, *La dinamica dell'aurora polare*, «Le Scienze», n. 251, luglio 1989, pp. 46-54.

l'atmosfera si gonfiò al di sotto della nave spaziale, raggiungendola e frenandola. A mano a mano che la resistenza aumentava, lo Skylab si spingeva sempre più in basso e infine, nell'estate del 1979, precipitò sulla Terra (9).

Grandi interruzioni delle radiocomunicazioni in tutto il mondo si ebbero nella seconda decade di marzo del 1989 con spettacolari fenomeni aurorali segnalati a New York, nel Texas, in Messico, in Australia ed anche in Italia in occasione di un brillamento solare che produsse una tempesta magnetica sulla Terra il 13 marzo 1989 (10).

Risulta evidente che esistono relazioni tra Sole e Terra con riferimento agli effetti prodotti sulla Terra dall'attività a periodicità undecennale del Sole in tutti i suoi aspetti.

L'attività solare influisce considerevolmente, come già si è detto, nel campo geofisico e nelle radiotrasmissioni.

Ancora incerti sono gli effetti che può avere l'attività del Sole sugli strati più bassi dell'atmosfera. Si è tentato di collegare le perturbazioni atmosferiche con il ciclo undecennale solare.

Una correlazione più certa si rivela fra l'attività solare e la crescita delle piante. Lo spessore degli anelli delle piante è maggiore e più spesso durante le epoche di massima attività che durante quelle di minimo.

È probabile anche che esista una relazione tra alcuni fenomeni solari, di breve durata e di grande intensità, quali i *flares*, e gli stati acuti di certe malattie (per esempio le embolie), quantunque non siano conosciuti i meccanismi fisici e biologici che sono alla base di questa relazione e non siano disponibili ancora sufficienti dati statistici (11).

La correlazione più evidente sembra ora quella relativa ai rapporti tra fluttuazioni climatiche e cicli delle macchie solari.

Sul problema delle fluttuazioni climatiche sulla Terra si sta ora svolgendo un grande dibattito scientifico. Infatti, con l'aumento della temperatura media su scala mondiale, anche il livello medio marino sta innalzandosi con conseguenze non ben prevedibili.

Nella storia della Terra degli ultimi millenni si sono già verificati periodi caldi e secchi con valori ben al di sopra di quelli registrati in questo ultimo secolo. Tutto ciò fa pensare che si tratti di un fenomeno naturale.

9) M. MARTEN E J. CHESTERMAN, *Astronomia spaziale*, Milano 1980, pp. 35-36.

10) U. VILLANTE, *La tempesta magnetica del 13 marzo 1989*, «Le Scienze», n. 262, giugno 1990, pp. 40-51.

11) HERRMANN, cit., p. 107.

Le discussioni tuttora in corso sulla possibilità di cambiamenti del clima globale tendono a concentrarsi sugli effetti dell'attività dell'uomo, quali gli accumuli dei gas responsabili dell'*effetto serra* o della distruzione dell'ozono a causa dei clorofluorocarburi. Per poter comprendere e quantificare questi effetti è necessario tenere conto di altre cause di mutamenti ambientali, soprattutto delle variazioni a lungo termine dell'emissione di particelle cariche da parte del Sole.

Molti studiosi stanno tentando di determinare con maggiore precisione i legami tra condizioni solari e condizioni terrestri e di prevedere il corso futuro della variabilità solare, o addirittura, se è possibile prevedere con una certa sicurezza la ciclicità delle macchie solari e dei brillamenti.

Le fluttuazioni a breve termine sono state per la prima volta individuate nel 1980-1986 con i radiometri a bordo di alcuni satelliti per la misurazione della costante solare. Infatti nel 1986 i valori riportati dai due radiometri, che erano diminuiti con l'attività solare fino al 1980, si sono mantenuti stazionari per cominciare a risalire nel 1987, con l'ingresso del sole nel suo nuovo ciclo e il conseguente aumento di attività. I dati dei due satelliti indicano che la luminosità solare è scesa dello 0,1% circa tra il massimo di attività nel 1981 e il minimo a metà del 1986 (con il quale inizia il ciclo n. 22 tuttora in corso).

Si è tentato più volte di trovare una correlazione tra il ciclo solare e le condizioni meteorologiche sulla Terra.

Da parte di alcuni ricercatori è stato fatto notare che il verificarsi di periodi caldi in Europa occidentale e negli Stati Uniti negli ultimi quarant'anni è strettamente legato al ciclo solare.

Da questi è stato pure previsto il riscaldamento globale che ha dato origine nel 1988-1989 ad un inverno estremamente mite in Europa occidentale e nel Regno Unito (12).

Le ricerche attualmente in corso dovrebbero contribuire a determinare se il ciclo dell'attività solare è prevedibile, almeno in linea di principio, o se è caotico. Comprendere le eventuali relazioni tra le macchie solari e il clima terrestre sarà importante per ricostruire la storia climatica della Terra e per prepararci a subire gli impatti che le fluttuazioni climatiche indurranno sulla Terra e di conseguenza sull'uomo.

12) P. V. FOUKAL, *La variabilità del sole*, «Le Scienze», n. 260, aprile 1990, pp. 18-25.

Altri ricercatori sospettano che l'attuale aumento di temperatura, iniziato intorno al 1880 (13), ed il relativo aumento del livello medio marino, a seguito dello scioglimento nei ghiacciai e delle calotte glaciali in tutto il mondo (14), siano dovuti alle attività antropiche e che questo aumento termico globale minaccerebbe la stessa stabilità del pianeta Terra.

Da parte di molti, comunque si sospetta che la previsione di un collasso ambientale non sia molto fondata.

Nonostante l'incertezza scientifica, gruppi governativi e non governativi fanno a gara nel sollecitare drastiche azioni per la stabilizzazione del clima del globo.

L'idea che il comportamento dell'umanità possa modificare la composizione dell'atmosfera e quindi del clima sulla Terra, non è affatto nuova. Già verso il 1860 fu avanzata l'ipotesi che piccole variazioni nella composizione atmosferica potesse causare cospicue variazioni climatiche. Un aumento di anidride carbonica e di altri gas in traccia presenti nell'atmosfera può contribuire a quello che viene chiamato *effetto serra*. Questi composti permettono alla energia solare di raggiungere la superficie della Terra e di riscaldarla, ma impediscono poi a gran parte di questa stessa energia di dissiparsi nello spazio.

Nel corso dell'ultimo secolo si è calcolato che la temperatura media mondiale ha avuto un incremento tra 0,3 e 0,8 gradi Celsius e che il livello marino, a seguito dello scioglimento dei ghiacci in tutto il mondo, è pure aumentato (15).

Gli studiosi in tutte le parti del mondo continuano a porsi il problema se questo incremento rappresenti una fluttuazione naturale, oppure dipenda proprio dall'aumento dei gas serra.

Sono state elaborate curve della variazione del livello medio del mare (curve eustatiche) in funzione delle macchie solari (fig. 2). Per quanto riguarda gli ultimi duemila anni, la ricostruzione "lisciata" della curva dei cicli delle macchie solari elaborata da Schove mostra

13) R. M. WHITE, *Il grande dibattito sul clima*, «Le Scienze», n. 265, settembre 1990, pp. 14-21.

14) P.D. JONES, e T.M. WIGLEY, *La Terra tende a scaldarsi?*, «Le Scienze», n. 266, ottobre 1990, pp. 68-75.

15) V. GORNITZ, S. LEBEDEFF e J. HANSEN, *Global sea level trend in the past century*, «Science», vol. 215, 26 march 1982, pp. 1611-1614; J. HANSEN e S. LEBEDEFF, *Global trends of measured surface air temperature*, «Journal of Geophysical Research», 2 (1987), pp. 13344-13372.

una oscillazione rispondente con notevole esattezza al generale andamento dei livelli medi del mare definiti dalla curva di Fairbridge (16).

Tutto ciò si spiega data la correlazione tra macchie solari e clima.

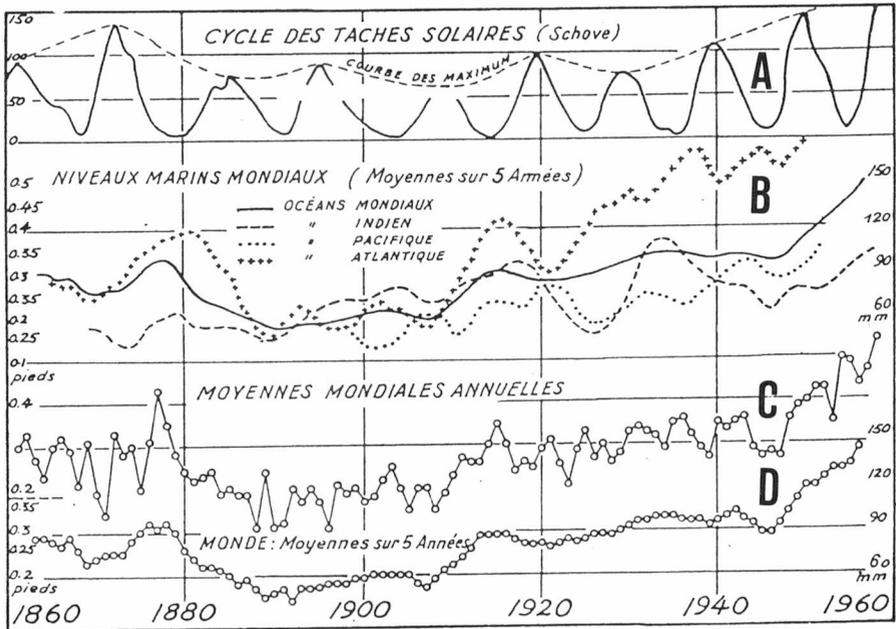


Fig. 2. Correlazione tra le macchie solari e i livelli marini mondiali nel periodo 1860-1960.

A - Curva delle macchie solari associata a quella dei valori massimi.

B - Livelli marini degli oceani. Media mobile quinquennale.

C - Valori medi annuali del livello marino mondiale.

D - Media mobile quinquennale del livello marino mondiale.

Da: Fairbridge, 1961.

16) R. W. FAIRBRIDGE, *Radiation solaire et variations cycliques du niveau marine*, «Revue de Géographie Physique e de Géologie Dynamique», 4.1 (1961), pp. 2-14; Id., *World sea level and climatic changes*, «Quaternaria», VI (1962) pp. 111-134; D.J. SCHÖVE, *The sunspot cycle, 649 B.C. to A.D. 2000*, «Journal of Geophysical Research», 60, (1955), 60.2, pp. 127-146. Queste curve sono riportate pure da W. Dorigo, *Venezia origini*, parte seconda, Milano 1983, pp. 131-140.

Una forte attività solare induce sulla Terra una variazione in senso positivo della temperatura, e di conseguenza lo scioglimento dei ghiacciai e delle calotte polari che producono un aumento del livello del mare. Per l'Adriatico, sulla base dello studio della serie storica di registrazioni del mareografo di Trieste, per il periodo 1890-1983, l'aumento medio del livello marino risulta il 1,32 mm/anno (17). In realtà la tendenza dell'aumento della temperatura dell'aria iniziata nella seconda metà del secolo scorso avviene con fluttuazioni dell'ordine dei decenni (da 20 a 35 anni). A periodi caldi ed umidi si alternano periodi freddi ed umidi (Cicli di Brückner) (18). Esempi si sono avuti anche in questo secolo. Al periodo freddo ed umido del 1945-1970 è seguito poi il periodo caldo e secco del 1970-1990. Si è già detto che l'aumento osservato della temperatura a livello globale non è stato costante e non può essere collegato direttamente con l'aumento dei gas emessi dalle attività antropiche nell'atmosfera (effetto serra). Tra il 1940 e il 1965 si è, per esempio, verificato un abbassamento della temperatura media globale, nonostante il continuo aumento dei gas serra emessi dai processi industriali, dalla circolazione di autoveicoli a benzina ed altre attività dell'uomo. È certo, comunque, che la temperatura media mondiale è aumentata nell'ultimo secolo di circa mezzo grado Celsius e che i sei anni più caldi sono stati in ordine il 1988, il 1987, il 1983, il 1981, il 1980 e il 1986 (19).

Periodi di grande siccità o di grande piovosità sono stati registrati diverse volte sulla Terra in queste ultime centinaia di anni, ma tutte le volte che si indagava sulle cause di tali fenomeni si finiva per dare sempre la responsabilità all'uomo che con le sue attività si riteneva influenzasse vari fenomeni a livello cosmico.

Così in India, i periodi di gravi siccità tra il 1835 e il 1839, all'inizio del 1870 e tra il 1877 e 1878 furono interpretati come fenomeni indotti dalle attività antropiche (taglio delle foreste, estensione dei centri abitati e aumento degli incendi). Si presero iniziative

17) F. STRAVISI, *Climatic variation at Trieste during the last century*, «Geofizika», 4 (1987), pp. 61-76.

18) E. BRÜCKNER, *Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die klimaschwankungen der Diluvial zeit*, «Geographische Abhandlungen», B. IV, H. 2, Wien 1890, pp. 153-484; A. VEGGIANI, *Le fluttuazioni del clima dal XVIII al XX secolo. I cicli di Brückner*, «Torricelliana», 37 (1986), pp. 107-159.

19) R.A. HOUGHTON e G.M. WOODWELL, *Modificazioni del clima a livello planetario*, «Le Scienze», n. 250, giugno 1989, pp. 14-23.

e furono emanate disposizioni legislative da parte degli organi governativi rivolti a rinforzare le politiche forestali.

Attualmente si è in possesso di informazioni sul clima che ci permettono di affermare che questi fenomeni furono registrati in tutto il mondo e contemporaneamente, tanto da poter affermare che unico era il motore di queste fluttuazioni climatiche. Tuttavia la siccità del 1862 in Sud Africa non solo diede l'avvio ad interventi conservativi in tutta l'Africa, ma ebbe conseguenze di più vasta portata.

Infatti incoraggiò il formarsi di una vera e propria scuola di pensiero sulla desertificazione e l'inaridimento. Molti scienziati, politici e amministratori si convinsero che la maggior parte dei tropici semiaridi si stava inaridendo del tutto a causa della deforestazione nelle zone coloniali. Si attribuiva, cioè, l'inaridimento alla sconsiderata distruzione di alberi con il fuoco e all'incendio dei pascoli da parte dei nativi. Si sostenne anche che la deforestazione e la conseguente siccità era stata agevolata con l'introduzione in Africa di asce in ferro a prezzi economici e di conseguenza la colpa si scaricava sulle industrie (20). Pochi studiosi si opposero a queste teorie che stavano andando di moda, tra questi lo scienziato esploratore David Livingstone che insistette nel dimostrare che le precipitazioni erano diminuite a causa di fenomeni geofisici naturali. Di fatto dopo i periodi di siccità seguirono sempre periodi con aumento delle precipitazioni in maniera ciclica.

Oltre a questi cicli dell'ordine dei decenni, vi sono altri cicli a più lungo termine, fino dell'ordine delle centinaia di anni.

A questi cicli corrispondono fenomeni di più vasta portata con un impatto notevole sulla Terra. Anche questi cicli di più lungo periodo si inquadrano sempre nell'ambito dell'attività solare.

Nell'andamento dell'attività solare, alla ben nota periodicità di undici anni, si sovrappongono altre componenti cicliche di breve o di lungo periodo. Il ciclo undecennale, al grezzo, è tale sono in media, tra massimo e massimo si alternano intervalli che possono durare da 8 a 12 anni. In realtà, questa variazione è dovuta alla presenza di componenti periodiche nell'attività solare e alla presenza di disturbi che determinano distorsioni più o meno evidenti, ma che una accurata analisi statistica può separare (fig. 3).

La serie dei numeri di Wolf nel corso degli anni, e il grafico che

20) R. H. GROVE, *Le origini dell'ambientalismo occidentale*, «Le Scienze», n. 289 (1992), pp. 16-21.

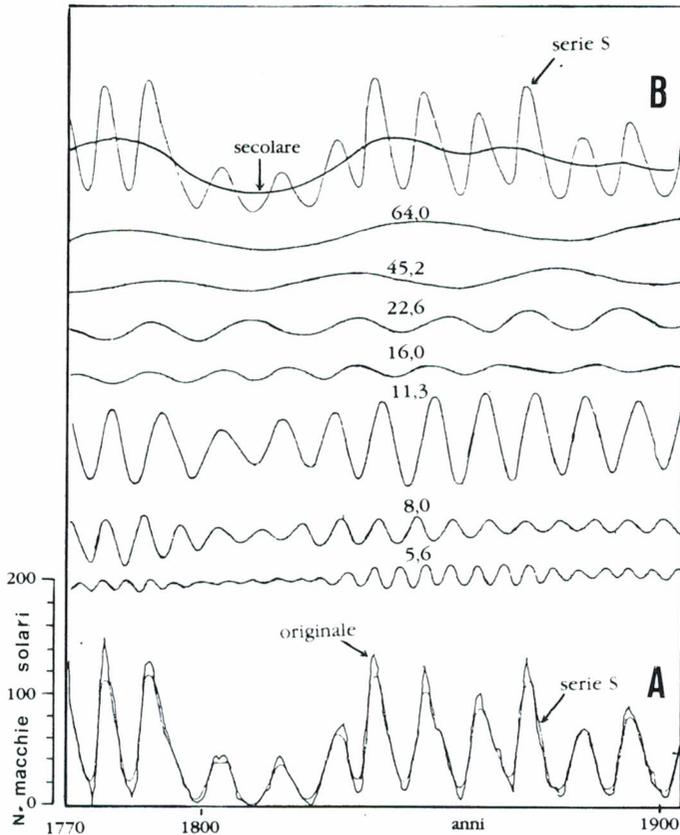


Fig. 3. Successione dei numeri di Wolf perequati, collegati alle macchie solari, dal 1770 al 1905.

A - Curve della serie *originale* e della *serie S* elaborata con il calcolo.

B - Curva della *serie S* e curva *secolare* ricavata con filtraggio.

Le curve intermedie sono le componenti aventi i periodi indicati. Non compare l'onda dei 32 anni perché non discernibile.

La somma delle componenti dà la serie *originale*.

L'onda undecennale è preponderante.

Da: Mosetti, 1991.

la rappresenta, possono essere scomposti matematicamente con opportune operazioni di filtraggio. Si ottengono così le varie componenti periodiche che, sommate, danno la serie originaria (fig. 3). L'onda undecennale, come si è detto, è solo la più ampia e il fatto che neanche essa sia perfettamente sinusoidale, ma abbia ampiezza variabile (com'è successo alla fine del sec. XVII e nei primi decenni del sec.

XIX in cui si ebbero periodi molto freddi indicati con il termine di Piccola Età Glaciale) indica la possibilità di sovrapposizione di onde lunghissime, che allo stato attuale non è possibile precisare perchè le osservazioni non risalgono abbastanza indietro nel tempo (21).

È evidente che il comportamento oscillante del clima si riflette sulla vegetazione. Se si osservano gli anelli di accrescimento annui di un albero si vede che questi sono più larghi o più stretti alternativamente, con una certa regolarità. Con adeguate letture degli spessori si possono dedurre delle serie temporali di valori che, sottoposti ad analisi, denotano componenti della successione naturale dei periodi. Compare l'onda undecennale ma è accompagnata da tutta la serie delle altre componenti. Le oscillazioni più frequentemente osservabili, sia nella serie dei numeri di Wolf, come in altri fenomeni che sembrano connessi con l'attività solare, sono quelle, almeno come disposizione media, di periodo di anni 1; 1,4; 2,8; 4; 5,6; 8; 11,2; 16; 22,6; 32; 45,2; 64; 90,4; 128; ...

Questa suggestiva serie geometrica di ragione radice-2 (cioè tale per cui le periodicità si ottengono moltiplicando il precedente valore per radice-2) si può indicare come "serie naturale della periodicità" (22).

I periodi effettivi che si riscontrano in vari fenomeni geofisici sono talora solo prossimi a quelli della serie, spesso per inesattezza di calcolo derivante da osservazioni poco estese nel tempo, oppure per fenomeni di risonanza che possono esaltare più o meno alcune periodicità, mascherando o interferendo sulle altre.

Per le indagini e le eventuali scoperte di ciclicità negli anelli meristemati degli alberi è sorta una scienza, la dendrologia, che affiancandosi agli studi climatici, ha permesso di rinvenire la serie naturale dei periodi sopra indicati anche negli stessi anelli di accrescimento, per esempio, delle sequoie della California, vecchie di oltre 4.000 anni. Risulta molto sorprendente notare che gli stessi periodi si riscontrano in una varietà di fenomeni geofisici e biolo-gici.

In queste ultime centinaia di anni, i periodi freddi e umidi e i periodi caldi e secchi si sono alternati con una ciclicità di 20-22/30-35 anni corrispondenti rispettivamente al doppio ciclo delle macchie solari (Ciclo di Hale) e al triplo ciclo delle macchie solari (equivalente al Ciclo di Brückner).

21) F. MOSETTI, *Sole-Terra: le interazioni nascoste*, «L'Astronomia», n. 108 (1991), pp. 21-27.

22) MOSETTI, cit., p. 22.

È da tenere presente che lo studio dendrocronologico non sempre può rilevare tutte le ciclicità delle macchie solari dato che dipende dal tipo di pianta studiata e dalla sua posizione geografica. Per esempio, dalla ricerca sulla crescita del pino (*Pinus pinea* L.) nelle pinete del Ravennate, (fig. 4), eseguita dal Buli (un vero pioniere della dendrocronologia in Italia), l'onda dei 22 anni che nei pini romagnoli

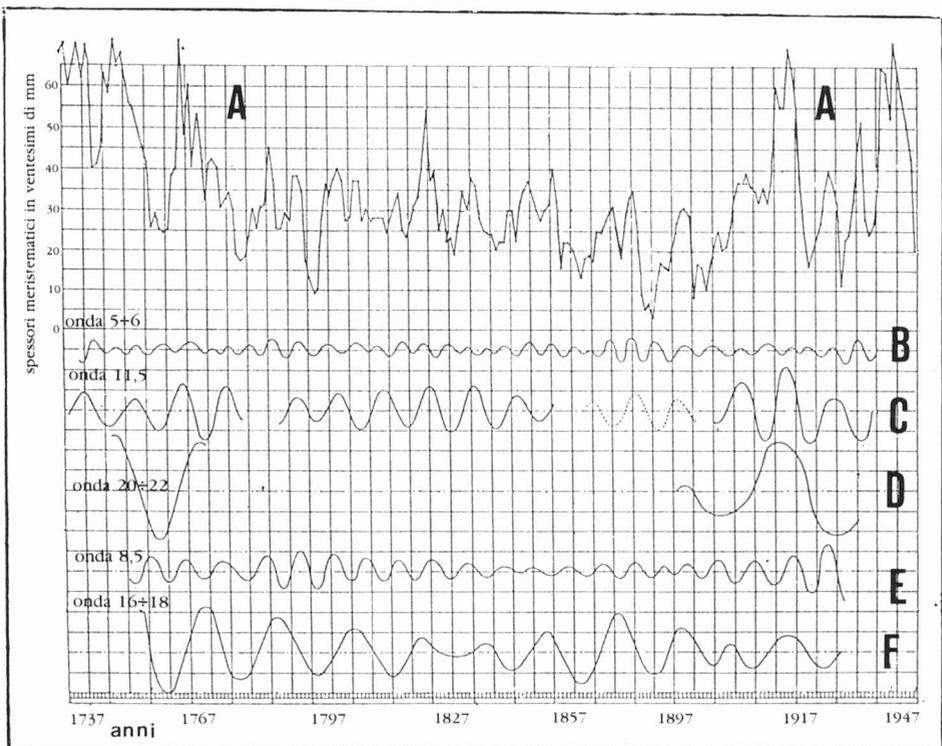


Fig. 4. Spessori meristematici di una sezione di tronco di pino della Pineta di Classe (Ravenna) vissuto nel periodo 1737-1947.

A - Curva degli spessori.

B-C-D-E-F- Onde in cui può essere scomposta la curva A.

Queste onde sono simili a quelle in cui può essere scomposto l'andamento delle macchie solari.

Da: Mosetti, 1991.

è sempre incerta, si ritrova chiaramente invece nelle conifere dell'Europa settentrionale (23).

Le ricerche del Galli e altri pure sui pini ravennati permettono di rilevare la correlazione tra lo sviluppo di quella vegetazione arborea e la temperatura invernale per il periodo 1856-1980 (24), correlazione che è stata poi estesa fino al 1653.

Le relazioni tra Terra e Sole, con particolare riferimento alle fluttuazioni climatiche di questi ultimi millenni, sono state agevolate dallo studio del rapporto tra il radioisotopo Carbonio-14 e l'isotopo stabile Carbonio-12 presenti negli anelli meristemati degli alberi. Il Carbonio-14, infatti, si forma nell'alta atmosfera a causa dell'azione energetica dei raggi cosmici di provenienza galattica.

Quando il sole è più attivo e il numero delle macchie solari è più elevato, il campo magnetico solare, che in questa fase è più ampliato, scherma la Terra di una certa quantità di raggi cosmici provocando di conseguenza una diminuzione della quantità di radiocarbonio prodotto. Il contrario avviene quando il numero delle macchie solari diminuisce. Misurando la quantità di radiocarbonio contenuto nel legno degli anelli meristemati che sono stati datati con la dendrocronologia, si è in grado di valutare le condizioni del sole nell'anno in cui si è formato un determinato anello.

Considerando che vi sono serie dendrocronologiche che abbracciano gli ultimi ottomila anni, è stato possibile ricostruire la storia dell'attività solare dall'età neolitica ad oggi (25).

I segni dell'attività solare, oltre che negli anelli degli alberi, sono presenti nei sedimenti e nei ghiacciai. Un ciclo doppio di quello di Hale (45 anni siderali) è emerso con lo studio delle linee di spiaggia nella Baia di Hudson (Canada) (26), mentre il ciclo di Wolf-Gleissberg (60-100 anni, in media 88-90 anni) è stato verificato con lo studio delle aurore polari in Europa e nell'Oriente per un periodo

23) U. BULLI, *Ricerche climatiche sulle pinete di Ravenna*, C.N.R., Bologna 1949.

24) M. GALLI, M. GUADALUPI, T. NANNI, L. RUGGIERO e F. ZUANNI, *Ravenna pine trees as monitors of winter severity in N-E Italy*, «Theoretical and Applied Climatology», 1992, in corso di stampa.

25) J. A. EDDY, *Il clima e il ruolo delle condizioni solari*, in R. I. ROTBERG e T. K. RABB (a cura di), *Clima e storia*, Milano 1984, pp. 170-197; M. R. ATTOLINI, S. CECCHINI, G. BONINO, G. CINI CASTAGNOLI, M. GALLI e T. NANNI, *Le relazioni Terra-Sole*, «Acqua, Aria», 1988, n. 2, pp. 227-240.

26) R. W. FAIRBRIDGE e C. HILLAIRE-MARCEL, *An. 8.000 - yr palaeoclimatic record of the "Double-Hale" 45-yr solar cycle*, «Nature», vol. 268, 4-8-1977, pp. 413-416.

di mille anni (27). Una ciclicità di circa 260 anni negli ultimi 5.500 anni è stata individuata nelle oscillazioni delle torbiere della Danimarca (28). Una periodicità intorno ai 200 anni, su un periodo di 8.500 anni, è emersa con lo studio del radiocarbonio negli anelli degli alberi (29).

Da tutto quanto è stato fino qui esposto risulta evidente l'importanza della conoscenza delle leggi che regolano il ciclo delle macchie solari. Viste le tante correlazioni esistenti con il mondo della natura, sia biologico, sia fisico, poter prevedere con una certa sicurezza l'andamento del prossimo futuro di tutte queste ciclicità porterebbe ad una migliore programmazione degli interventi antropici sia a breve che a lungo termine.

## 2. *Le macchie solari viste da Raffaele Bendandi*

La lunga introduzione qui inserita è stata necessaria per poter comprendere meglio l'opera del Bendandi, di cui si darà di seguito illustrazione e di inquadrarla in un contesto più vasto degli studi sulle macchie solari che ormai, sembra certo, tanta influenza hanno sugli ambienti fisici e biologici della Terra. Solo in questo modo sarà possibile mettere in risalto gli sforzi effettuati da Bendandi nel creare una sua teoria per la previsione, nel corso del tempo, della ciclicità di un fenomeno che in questi ultimi decenni si è rivelato di grande importanza nel dibattito internazionale sulle variazioni climatiche e le trasformazioni ambientali che stanno coinvolgendo tutta la Terra.

Nel 1931, Raffaele Bendandi pubblicava un libro avente come titolo: *Un principio fondamentale dell'universo* e come sottotitolo: *Il Sole-Sua attività-Genesi del ciclo undecennale*, con 80 figure e tavole fuori testo (30), per dimostrare la sua genuina serietà nella ricerca ed

27) J. FEYNMAN e P.F. FOUGERE, *Eighty-eight year periodicity in Solar-terrestrial phenomena confirmed*, «Journal of Geophysical Research», vol. 89, n. A 5, 1984, pp. 3023-3027; M. R. ATTOLINI, S. CECCHINI, M. GALLI e T. NANNI, *On the persistence of the 22y solar cycle*, «Solar Physics», 125 (1990), pp. 389-398.

28) B. AABY, *Cyclic climatic variations in climate over the past 5.500 yr reflected in raised bogs*, «Nature», vol. 263, 23 settembre 1976, pp. 281-284.

29) C. P. SONETT, *Very long solar periods and the radiocarbon record*, «Reviews of Geophysics and Space Physics», 22 (1984), n. 3, pp. 239-254.

30) R. BENDANDI, *Un principio fondamentale dell'universo*, Bagnacavallo (Ravenna) 1931.

in polemica con quanti andavano affermando che il suo lavoro era privo di qualsiasi base scientifica.

Bendandi, dopo aver illustrato la storia della scoperta delle macchie solari, le esplosioni e protuberanze e gli enigmi della corona solare, ed inoltre le varie ipotesi della scienza su questi vari fenomeni, porta il suo discorso sulla fluttuazione undecennale dell'attività solare e gli approfondimenti delle ricerche su queste periodicità. Fa presente che già Galileo Galilei sospettò che vi fosse una relazione di dipendenza fra le macchie solari nella regione equatoriale del Sole e la posizione dei pianeti del sistema. Seguì poi l'opera di numerosi scienziati ed astronomi tutti rivolti a scoprire la causa del bizzarro andamento dell'attività solare. Altri cercarono nelle attrazioni del pianeta Giove la causa dei periodici sconvolgimenti solari, dato che il tempo rivolutivo di questo pianeta attorno al Sole non è molto diverso dal periodo delle macchie. Messi a confronto i cicli undecennali trascorsi, si notava che si passava da una completa concordanza ad una discordanza più assoluta.

Dato che la periodicità delle macchie solari è in media attorno agli undici anni, ma di fatto va soggetta talvolta a variazioni considerevoli, anche di diversi anni, poteva pensarsi che, nell'ipotesi che la vera causa sia di origine gravitazionale, fossero l'effetto di più pianeti, in particolare di Venere, Terra e Giove, quando vengono a trovarsi tra loro allineati. In questa circostanza si ha un accresciuto sforzo gravitazionale sul Sole, ma il più leggero squilibrio, il più lieve turbamento del campo gravitazionale prodotto dal sommarsi delle attrazioni planetarie, rallenta l'efficacia della gravità, giustificando così l'alternarsi di periodi di più bassa attività solare. Bendandi arriva a concludere che la periodica crisi solare scaturisce da una perturbazione del campo gravitazionale dovuta al ritmico sommarsi degli sforzi attrattivi dei pianeti Venere, Terra e Giove.

Con riferimento alla fig. 5 A, la linea A-B è la retta di allineamento, l'orbita interna più vicina al Sole è quella di Venere, l'interna quella della Terra mentre il cerchio esterno è l'orbita seguita da Giove. Nel caso particolare (posizione O della fig. 5A) in cui i tre pianeti siano perfettamente allineati con il Sole, e quindi senza alcun ritardo, gli sforzi attrattivi delle varie masse si sommeranno esattamente e di conseguenza la differenza al perfetto allineamento risulterà nulla. Dopo una mezza rivoluzione del pianeta Venere (posizione 1 della fig. 5A) questo stesso pianeta sarà nuovamente allineato e in congiunzione superiore con il Sole mentre Giove, dopo aver percorso buona parte della sua rivoluzione sinodica si troverà nel punto 1 (fig.

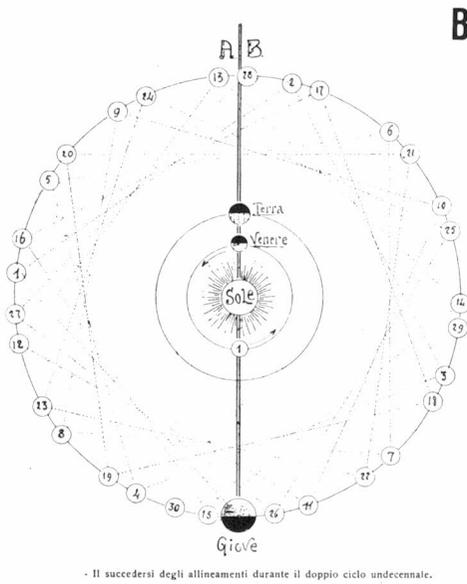
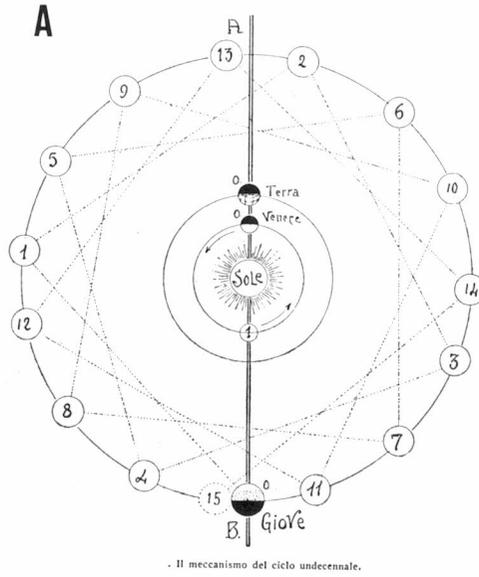


Fig. 5. Gli allineamenti planetari e la genesi delle macchie solari.

A - Il meccanismo del ciclo undecennale.

B - Il succedersi degli allineamenti durante il doppio ciclo undecennale.

Da: Bendandi, 1931.

5A), molto lontano quindi dalla linea verticale di riferimento occupata dagli altri pianeti.

E così continuando finchè alla tredicesima semirivoluzione sinodica, Venere sarà di nuovo allineato in congiunzione superiore al Sole, ma Giove, questa volta, non si troverà molto lontano dalla congiungente gli altri astri, occupando il punto 13 (in alto della fig. 5A). Il quattordicesimo allineamento di Venere troverà Giove molto lontano dall'allineamento, ma con la successiva quindicesima mezza rivoluzione di Venere, Giove si porterà assai vicino (punto 15 della fig. 5A) alla posizione degli altri pianeti allineati sulla retta A-B.

Se si seguiranno gli spostamenti relativi delle masse planetarie per un secondo periodo undecennale (fig. 5B), allora si troverà che alla ventottesima semirivoluzione di Venere, anche Giove verrà a trovarsi in vicinissima congiunzione con gli altri tre corpi allineati. Ad ogni due periodi undecennali, l'allineamento si presenta molto più accentuato. In definitiva, dopo il primo allineamento perfetto delle forze planetarie, debbono trascorrere 13-15 semirivoluzioni di Venere prima che un notevole accostamento di Giove si verifichi. Dato che questi numeri di semirivoluzioni corrispondono rispettivamente a 10,39 e 11,99 anni, si ha così una prima media approssimata del ciclo undecennale in 11,10 anni.

Se si volesse un tracciato più particolareggiato della curva delle macchie solari, conseguenza delle attrazioni gravitative planetarie, occorrerebbe tenere in dovuto conto anche quelle esercitate dal pianeta Mercurio la cui massa, sebbene minuscola, data la considerevole vicinanza al Sole, non può mancare di ingenerare una sia pure lieve perturbazione sull'astro centrale.

Bendandi, nell'illustrare la sua teoria, metteva in evidenza, sulla base di quanto era già successo nell'andamento del numero delle macchie solari, che l'alternarsi dei valori massimi in corrispondenza del ciclo undecennale non avviene secondo valori costanti, ma valori più elevati si alternano a valori di minore entità e che ciò accade soltanto in certe speciali condizioni. Per quanto riguarda l'ultimo cinquantennio (con riferimento al 1931, data di pubblicazione del libro), il massimo assoluto nel 1870-1871 fu seguito da un massimo relativo nel 1883; nel 1893 il massimo si presentò nuovamente accentuato, seguito nel 1905 da un massimo di minore intensità. Ed anche nel primo trentennio di questo secolo, il fatto si è ripetuto nel modo più evidente, poichè l'ultima fluttuazione del periodo (1926-1928) ha raggiunto per intensità appena la metà della precedente.

Sulla base dei suoi calcoli e considerazioni sugli allineamenti

planetari, Bendandi concludeva che l'andamento dei massimi delle macchie solari è molto variabile ma che solo dopo sette battimenti undecennali, cioè dopo 77 anni, il fenomeno si ripete grosso modo nelle sue stesse identiche condizioni. Il ciclo di 77 anni si compone, secondo Bendandi, di sette periodi undecennali, il primo considerato di anni 10,39, il secondo di anni 11,99, in seguito le due lunghezze si alternano in successione. Con questa teoria, Bendandi riuscì a tracciare una curva con l'andamento della intensità dei massimi in un periodo di 77 anni. Il ciclo di 77 anni è affetto però da una leggera differenza la quale, se per un calcolo approssimativo, può venire trascurata, non lo può più essere quando si voglia spingere l'indagine nel lontano passato. Questa leggera discrepanza fa sì che dopo tre periodi di 77 anni ciascuno, ne accade uno di minor durata corrispondente a soli 55 anni. In seguito l'andamento dei successivi periodi si presenta invertito, finchè trascorsi altri due cicli di 77 anni, il periodo si chiude esattamente. Si ha così un ciclo di 442 anni che comprende sei oscillazioni secondarie di cui cinque di 77 anni ed una di 55 anni. Bendandi però si spinge oltre affermando che non è ancora questo il periodo massimo che riconduce l'andamento dell'attività solare alle stesse precise condizioni di ampiezza e di intensità. Infatti esaminando l'andamento dei vari massimi in un ciclo di 442 anni, si trova che quantunque detto periodo sia esatto, tuttavia la disposizione è nettamente alternata, il che sta a dimostrare che il ciclo esatto assoluto, che riporta l'attività solare alle stesse precise condizioni di ampiezza e intensità, comprende due periodi di 442 anni, pari cioè a circa 885 anni (fig. 6). Questa è la durata del massimo ciclo dell'attività solare. Dividendo questo lungo periodo per la cifra di 80, numero dei cicli undecennali che lo compongono, si ricava che la durata del periodo è di anni 11,07, durata equivalente ad anni tropici 11 e 26 giorni (31). Il ciclo completo dell'attività solare è stato sintetizzato nella fig. 6. Si nota che il lungo ciclo delle variazioni è suddiviso nei due sottoperiodi di 442 anni che lo compongono. Le cifre poste superiormente alla figura rappresentano gli anni dei vari periodi undecennali

31) In senso generale, l'anno è il periodo di tempo impiegato dalla Terra a compiere un'orbita attorno al Sole. Nel calendario gregoriano la sua durata si assume di 365,2425 giorni.

Si possono definire l'anno siderale di 365,2425 giorni solari medi, che è il periodo impiegato dal Sole fittizio a percorrere l'eclittica rispetto alle stelle fisse e l'anno tropico di 365,24220 giorni solari medi che è il periodo impiegato dal Sole fittizio a transitare due volte dall'equinozio di primavera.

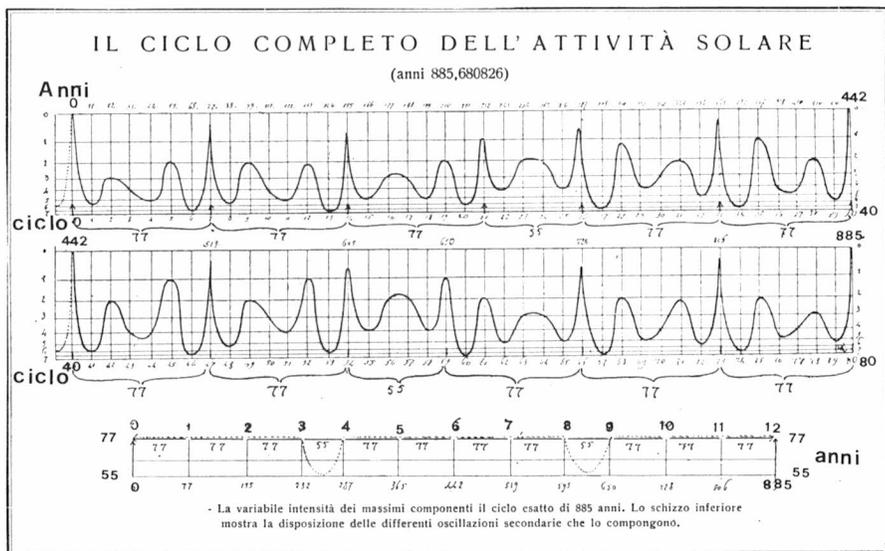


Fig. 6. Schema del ciclo completo delle macchie solari.

Da: Bendandi, 1931.

via via sommati; i numeri segnati di fianco ai grafici indicano i valori delle differenze risultanti ad ogni battimento undecennale. Pertanto con differenza zero si ha il valore massimo di attività solare, mentre con il numero sette di differenza si ha il minimo. I tratti sottosegnati mostrano la suddivisione del lungo periodo nei suoi cicli minori di 77 e di 55 anni.

In tutti questi calcoli è stata trascurata l'influenza esercitata da Saturno sul regolare moto periodico di Giove ma, come afferma Bendandi, si è a ciò supplito usando per il moto di Giove un valore medio.

Un altro problema è dato dallo sfasamento esistente tra le manifestazioni del sole e le cause perturbatrici che lo determina. Di fatto queste manifestazioni appaiono con un certo ritardo rispetto alla causa perturbatrice dato che il Sole offre una certa resistenza a questi sforzi attrattivi. I ritardi, a seconda delle circostanze, possono raggiungere anche un anno o due.

In base alla sua teoria, che è abbastanza complessa e che si è qui riassunta per sommi capi, Bendandi preparò una serie di tabulati dove

venivano messi in risalto i valori delle differenze (in giorni) ottenuti nella comparazione fra i due moti relativi di Venere e di Giove, debitamente corretti del dato relativo alla latitudine e alla inclinazione degli astri allineati. In questo modo Bendandi ricostruiva graficamente le curve dell'attività solare dal 1600 al 2000 indicando con una prima curva l'istante teorico del fenomeno e con una seconda curva il ritardo offerto dalle varie manifestazioni solari, ritardo che, secondo Bendandi si aggira in media attorno ad un anno.

Nella fig. 7 vengono riportate le previsioni dell'attività solare calcolate per il periodo 1933-2000, così come risulta nel libro del Bendandi (32). Si può verificare in questo modo il grado di attendibilità della teoria proposta. Sulla fig. 7 del Bendandi, lo scrivente ha indicato la numerazione ufficiale dei cicli delle macchie solari che, come è già stato detto, inizia con il n. 1 nel 1755. Inoltre si sono indicate con le frecce le punte dei minimi (freccia verso il basso) e

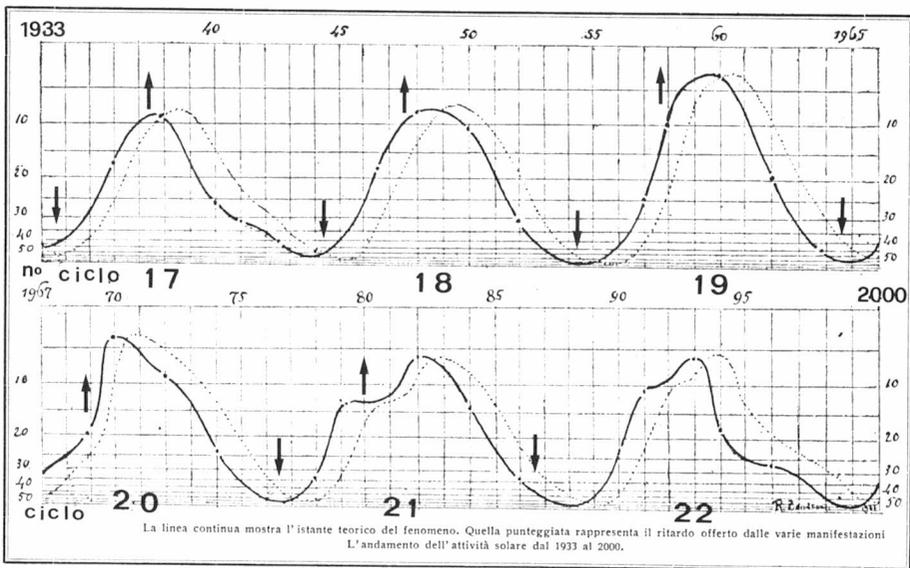


Fig. 7. Le previsioni di Raffaele Bendandi sull'andamento dell'attività solare dal 1933 al 2000.

Da: Bendandi, 1931.

quella dei massimi (freccia verso l'alto) come in realtà si sono succedute sulla base di dati ufficiali (Fig. 8) (33).

Per meglio comprendere la Fig. 7 sono state riportate nella Fig. 8 i dati ufficiali e nella Fig. 9 i dati pubblicati da Bendandi nel 1931 sui massimi delle macchie solari. Ne deriva così che anche dai calcoli previsionali del Bendandi risulta che il ciclo n. 19 è stato superiore a tutti quelli del periodo 1933-2000 (Fig. 9, n. 33 equivalente al ciclo n. 19, con giorni di differenza 3,55).

A questo proposito Bendandi nel 1931 affermava che “col minimo assoluto testè verificatosi, la curva dell'attività solare ha raggiunto la sua massima depressione, presto andrà però risalendo, tanto che poco oltre la metà di questo XX secolo, come la nostra tavola ci indica, offrirà alcuni massimi veramente eccezionali. Tipici sotto questo rapporto saranno quelli particolarmente intensi che si verificheranno negli anni 1961, 1972, 1994 ecc. In dette epoche il fenomeno acquisterà spiccato risalto sia per le minime differenze che risulteranno al perfetto allineamento delle numerose masse planetarie, quanto perchè - come accadrà per il massimo del 1972 - alle azioni combinate di Venere e Giove, di cui finora abbiamo solo tenuto conto, verrà ad aggiungersi quella fin qui trascurata, ma non del tutto insignificante, del pianeta Mercurio” (34).

Dai confronti che si possono ora fare per i cicli dal n. 17 al n. 21, i minimi di attività solare calcolati da Bendandi coincidono con quelli effettivamente verificatisi (Fig. 7). Per quanto riguarda i massimi si trova una coincidenza abbastanza evidente per i cicli n. 17, 18 e 19 mentre per i cicli n. 20 e n. 21 si nota una certa sfasatura. Nel complesso, però le previsioni fatte da Bendandi sulla base della sua teoria gravitazionale, hanno una notevole coincidenza. È sorprendente, comunque, notare che il massimo di attività solare si è avuto con il ciclo n. 19, con un valore di macchie solari di 201, 3 così come previsto da Bendandi, un valore il più alto di tutti quelli dei 21 cicli presi in considerazione dal 1755 (Fig. 8).

Osservando la tabella di Bendandi con l'andamento dei cicli delle macchie solari dal 1933 al 2000 (Fig. 9), si può notare che il

33) GODOLI, cit., pp. 238-239.

34) BENDANDI, cit., pp. 192-193. A chiarimento delle affermazioni del Bendandi, si fa presente che mentre nella tabella della intensità dei massimi compaiono le date teoriche previste dal calcolo (Fig. 9), viene poi aggiunto un anno per tenere conto del ritardo della risposta dal sole alle sollecitazioni gravitazionali. Così gli anni di massimo di macchie solari del 1961 (1960), 1972 (1970) e 1994 (1993) corrispondono ai massimi dei cicli ufficiali nn. 19, 20 e 22 (Fig. 8).

## I cicli di attività delle macchie dal 1600 ad oggi.

| Numero del ciclo | Epoca di minimo | Epoca di massimo | Valore minimo medie mensili perequate di R* | Valore massimo medie mensili perequate di R* | Periodo di ascesa | Periodo di discesa |
|------------------|-----------------|------------------|---|--|-------------------|--------------------|
|                  | 1610,8          | 1615,5           | -   | -  | 4,7               | 3,5                |
|                  | 1619,0          | 1626,0           | -   | -  | 7,0               | 8,0                |
|                  | 1634,0          | 1639,5           | -   | -  | 5,5               | 5,5                |
|                  | 1645,0          | 1649,0           | -   | -  | 4,0               | 6,0                |
|                  | 1655,0          | 1660,0           | -   | -  | 5,0               | 6,0                |
|                  | 1666,0          | 1675,0           | -   | -  | 9,0               | 4,5                |
|                  | 1679,5          | 1685,0           | -   | -  | 5,5               | 4,5                |
|                  | 1689,5          | 1693,0           | -   | -  | 3,5               | 5,0                |
|                  | 1698,0          | 1705,5           | -   | -  | 7,5               | 6,5                |
|                  | 1712,0          | 1718,2           | -   | -  | 6,2               | 5,3                |
|                  | 1723,5          | 1727,5           | -   | -  | 4,0               | 6,3                |
|                  | 1734,0          | 1738,7           | -   | -  | 4,7               | 6,3                |
|                  | 1745,0          | 1750,3           | -   | 92,6   | 5,3               | 4,9                |
| 1                | 1755,2          | 1761,5           | 8,4   | 86,5   | 6,3               | 5,0                |
| 2                | 1766,5          | 1769,7           | 11,2  | 115,8  | 3,2               | 5,8                |
| 3                | 1775,5          | 1778,4           | 7,2   | 158,5  | 2,9               | 6,3                |
| 4                | 1784,7          | 1788,1           | 9,5   | 141,2  | 3,4               | 10,2               |
| 5                | 1798,3          | 1805,2           | 3,2   | 49,2   | 6,9               | 5,4                |
| 6                | 1810,6          | 1816,4           | 0,0   | 48,7   | 5,8               | 6,9                |
| 7                | 1823,3          | 1829,9           | 0,1   | 71,7   | 6,6               | 4,0                |
| 8                | 1833,9          | 1837,2           | 7,3   | 146,9  | 3,3               | 6,3                |
| 9                | 1843,5          | 1848,1           | 10,5  | 131,6  | 4,6               | 7,9                |
| 10               | 1856,0          | 1860,1           | 3,2   | 97,9   | 4,1               | 7,1                |
| 11               | 1867,2          | 1870,6           | 5,2   | 140,5  | 3,4               | 8,3                |
| 12               | 1878,9          | 1883,9           | 2,2   | 74,6   | 5,0               | 5,7                |
| 13               | 1889,6          | 1894,1           | 5,0   | 87,9   | 4,5               | 7,6                |
| 14               | 1901,7          | 1907,0           | 2,6   | 64,2   | 5,3               | 6,6                |
| 15               | 1913,6          | 1917,6           | 1,5   | 105,4  | 4,0               | 6,0                |
| 16               | 1923,6          | 1928,4           | 5,6   | 78,1   | 4,8               | 5,4                |
| 17               | 1933,8          | 1937,4           | 3,4   | 119,2  | 3,6               | 6,8                |
| 18               | 1944,2          | 1947,5           | 7,7   | 151,8  | 3,3               | 6,8                |
| 19               | 1954,3          | 1957,9           | 3,4   | 201,3  | 3,6               | 6,9                |
| 20               | 1964,8          | 1968,9           | 9,6   | 110,6  | 4,1               | 7,6                |
| 21               | 1976,5          | 1980,0           | 12,2  | 164,5  | 3,5               | -                  |

\* Indicando con  $R_m$  la media mensile osservata per il mese  $m$  ( $m = 1, 2, \dots, 12$ ) le medie mensili perequate  $\bar{R}_m$  vengono calcolate in base alla relazione

$$\bar{R}_m = 1/24 (R_{m-6} + R_{m+6} + 2 \sum_{i=1}^{4} R_{m-i}).$$

Fig. 8. I cicli di attività delle macchie solari dal 1600 ad oggi.  
Da: Godoli, 1988.

TABELLA DELLA INTENSITÀ DEI MASSIMI

|                | NUMERO | ANNO | MESE E GIORNO | DIFFER.<br>(giorni) | LATITUDINE<br>(gradi) | VALORE ESATTO |
|----------------|--------|------|---------------|---------------------|-----------------------|---------------|
| 1 numero cicli | 1      | 1605 | VII 4         | 4                   | + 2, 33               | = 6, 33       |
|                | 2      | 1615 | XII 10        | 8                   | + 0, 30               | = 8, 30       |
|                | 3      | 1627 | XII 8         | 3                   | + 0, 15               | = 3, 15       |
|                | 4      | 1639 | XII 4         | 6                   | + 0, 18               | = 6, 18       |
|                | 5      | 1650 | V 1           | 3                   | + 2, 00               | = 5, 00       |
|                | 6      | 1660 | IX 14         | 3                   | + 5, 00               | = 8, 00       |
|                | 7      | 1671 | II 8          | 4                   | + 4, 15               | = 8, 15       |
|                | 8      | 1683 | II 5          | 1                   | + 4, 00               | = 5, 00       |
|                | 9      | 1693 | VI 26         | 1                   | + 1, 20               | = 2, 20       |
|                | 10     | 1703 | XI 14         | 6                   | + 1, 40               | = 7, 40       |
|                | 11     | 1715 | XI 10         | 2                   | + 1, 80               | = 3, 80       |
|                | 12     | 1727 | XI 7          | 11                  | + 1, 90               | = 12, 90      |
|                | 13     | 1738 | IV 5          | 6                   | + 1, 90               | = 7, 90       |
|                | 14     | 1750 | VII 30        | 3                   | + 4, 00               | = 7, 00       |
|                | 15     | 1760 | VIII 14       | 0                   | + 4, 30               | = 4, 30       |
|                | 16     | 1771 | I 9           | 10                  | + 2, 20               | = 12, 20      |
|                | 17     | 1783 | I 4           | 2                   | + 2, 40               | = 4, 40       |
|                | 18     | 1794 | XII 29        | 8                   | + 2, 00               | = 10, 00      |
|                | 19     | 1805 | V 28          | 7                   | + 0, 43               | = 7, 43       |
|                | 20     | 1815 | X 12          | 4                   | + 3, 50               | = 7, 50       |
|                | 21     | 1829 | V 20          | 11                  | + 0, 90               | = 11, 90      |
|                | 22     | 1838 | III 4         | 0,50                | + 5, 70               | = 6, 20       |
|                | 23     | 1848 | VII 22        | 2                   | + 3, 50               | = 5, 50       |
|                | 24     | 1858 | XII 14        | 6                   | + 0, 50               | = 6, 50       |
|                | 25     | 1870 | XII 8         | 5                   | + 0, 08               | = 5, 08       |
|                | 26     | 1882 | XII 6         | 11                  | + 0, 00               | = 11, 00      |
|                | 27     | 1893 | V 1           | 4                   | + 1, 98               | = 5, 98       |
|                | 28     | 1905 | IV 27         | 6,75                | + 2, 20               | = 9, 00       |
|                | 29     | 1915 | IX 12         | 4,70                | + 5, 20               | = 9, 70       |
|                | 30     | 1927 | IX 10         | 11,75               | + 5, 30               | = 16, 30      |
|                | 31     | 1938 | II 4          | 5                   | + 4, 00               | = 9, 00       |
|                | 32     | 1948 | VI 24         | 7                   | + 1, 10               | = 8, 10       |
|                | 33     | 1960 | VI 22         | 2                   | + 1, 55               | = 3, 55       |
|                | 34     | 1970 | XI 10         | 1,50                | + 2, 50               | = 4, 90       |
|                | 35     | 1982 | XI 6          | 6                   | + 0, 00               | = 6, 00       |
|                | 36     | 1993 | IV 2          | 2,26                | + 4, 26               | = 6, 52       |
|                | 37     | 2003 | VIII 18       | 2                   | + 5, 80               | = 7, 80       |

Fig. 9. I dati dei massimi dell'attività delle macchie solari dal 1605 al 2003.  
Da: Bendandi, 1931.

valore di differenza all'allineamento dei pianeti per il n. 33 è di 3,55 giorni, il più basso di tutti i ventuno cicli considerati, al quale corrisponde la più alta sollecitazione gravitazionale sul sole e quindi il valore più alto di macchie solari (il n. 33 di Bendandi equivale al n. 19 della Fig. 8).

Per quanto riguarda il ciclo n. 22 che è iniziato nel 1986 ed è ancora in fase di svolgimento, sembra avere avuto il suo massimo,

con 160 macchie solari, nel 1989. Il ciclo si è mantenuto poco al di sotto delle 150 macchie negli anni 1990 e 1991 (39). Si tratta comunque di un valore assai notevole. Si può senz'altro dire che l'attività solare è stata molto forte in tutto il periodo 1989-1991 (35).

Anche questi dati confermano quanto già previsto da Bendandi nel 1931 che per tutto il 1950-2000 le macchie solari avrebbero raggiunto un numero notevole. Il ciclo n. 22 risulta al suo massimo (1993-1994) più sfasato delle altre previsioni (Fig. 7).

Sono state fatte numerose previsioni negli anni scorsi sia sul ciclo n. 21, sia su quello del n. 22. Qualcuno aveva supposto che il numero delle macchie solari nel ciclo n. 22 sarebbe stato superiore a quelle del ciclo n. 19, altri invece sostenevano che non avrebbe avuto un valore record, ma comunque superiore alla media, cioè maggiore di 104,9. Si sosteneva che sulla base solo di considerazioni statistiche era possibile predire l'intensità di un ciclo di macchie solari tre o quattro anni prima che si verificasse il suo massimo. In realtà le previsioni si sono rivelate distanti dal vero (36).

Bendandi considerò questa sua ricerca una vera e propria scoperta di valore internazionale, tanto che per vantare l'assoluta priorità della sua teoria, preparò il 10 marzo 1931 e poi depositò presso l'Accademia Pontificia dei Nuovi Lincei, un memoriale contenente un sunto di quanto aveva accertato.

La critica scientifica alla teoria di Bendandi si basava sul fatto che le forze gravitazionali prodotte dai pianeti allineati è alquanto modesta, appena significativa e pertanto questa non poteva produrre un qualche sconvolgimento importante sul Sole. Inoltre si faceva presente che la forza gravitazionale era molto piccola anche nel caso di una congiunzione di nove pianeti. Ed ancora veniva ribadito che l'effetto di marea prodotto sul Sole dai pianeti Mercurio, Venere, Terra e Giove provocava periodicità che non combinavano con il ciclo delle macchie solari.

Bendandi continuò a sostenere la sua teoria anche se andava migliorata ed approfondita, specialmente mettendo in conto l'influenza del pianeta Mercurio.

La maggior parte dei fisici solari tendono ancora oggi a sostenere

35) M. MESSEROTTI e P. ZLOBEC, *L'attività solare nel mese di maggio 1993*, «L'Astronomia», 136 (1993), pp. 72-73.

36) R. M. WILSON, *An alternative view of the size of solar cycle 22*, «Nature», 335, 27 ottobre 1988, p. 773; Id., *A prediction for the size of sunspot cycle 22*, «Geophysical Research Letters», vol. 15, n. 2, n. 8, 1988, pp. 125-128; J. L. LYNCH, *Cycle 21. Four diverged views*, «Q.S.T.», 61 (1977), n. 2, pp. 27-28.

che l'origine delle macchie solari deve ricercarsi nei moti del plasma solare permeato da campi magnetici che ciclicamente tendono ad affiorare sulla superficie del Sole. Si fanno inoltre strada le teorie che le macchie solari siano dovute all'esistenza di un nucleo rotante a velocità diversa da quello dello strato convettivo. Esistono tuttavia molte incertezze e difficoltà per una soddisfacente spiegazione del fenomeno (37). Si continua comunque a sostenere, da parte di numerosi studiosi delle macchie solari, che la teoria di Bendandi e cioè che l'attività solare sia prodotta dall'azione di marea planetaria sugli involucri del Sole, non ha alcun fondamento scientifico.

Bendandi ebbe modo nel 1950 di annunciare che uno scienziato americano, il dottor Clayton della Smithsonian Institution di Washington aveva pubblicato nel 1947 un lavoro abbastanza simile al suo sulla previsione delle macchie solari, lavoro infatti che seguiva la teoria degli allineamenti planetari (38). Fa inoltre presente che l'Autore non riesce a spiegare, però, le notevoli irregolarità nell'andamento delle macchie solari in alcuni determinati periodi, anche se concordava sull'influenza dei pianeti sul Sole. L'Autore americano non faceva alcun cenno al lavoro di Bendandi anche se, come lo stesso Bendandi dichiarava, il libro era stato spedito a molti istituti italiani ed esteri. Inoltre, dopo il secondo conflitto mondiale, una seconda edizione del libro stesso era stata stampata da una casa editrice americana la quale provvedeva a dare anche diverse traduzioni.

La teoria legata agli allineamenti planetari fu ripresa ancora da altri studiosi e ciò dava un certo credito alle ricerche del Bendandi.

Nel 1967, un altro autore straniero, E.K. Bigg del laboratorio radiofisico CSIRO di Sydney in Australia, ritornava a sostenere l'ipotesi che era possibile, anche se modesto, rilevare l'effetto gravitazionale dei pianeti sul Sole. Nella circostanza ammetteva che le teorie correnti sulla formazione delle macchie solari continuavano ad ignorare una possibile influenza esterna al Sole stesso su questi fenomeni. Dallo stesso autore veniva messo in risalto, come aveva a suo tempo affermato anche il Bendandi, l'influenza del pianeta Mercurio (39).

37) GODOLI, cit. p. 253.

38) R. BENDANDI, *Unicuique suum*, «Cielo e Terra», n. 1-2 (1950), pp. 13-14. La pubblicazione citata dal Bendandi è la seguente: CLAYTON, Smithsonian Institution, Washington, *Publication 3870*, 5 marzo 1947. Non sono riuscito a consultare tale lavoro di cui potrebbe trovarsi copia nell'Archivio-Biblioteca Bendandi a Faenza.

39) E. K. BIGG, *Influence of the planet Mercury on sunspots*, «The astronomical Journal», n. 1349, 1967, pp. 463-466.

Il periodo orbitale di Mercurio compariva nei dati della macchie solari e l'influenza dello stesso Mercurio dipendeva dalle fasi di Venere, della Terra e di Giove. Questi quattro, in definitiva, erano i pianeti che provocavano una marea sulla superficie del Sole.

Più interesse ancora suscitavano le ricerche, sul tipo di quelle già eseguite da Bendandi un trentennio prima, da parte di K.D.Wood della Università del Colorado (40). I pianeti presi in esame furono Venere, Terra e Giove. Questo ricercatore pubblicò anche le curve del numero delle macchie solari in funzione delle altezze delle maree planetarie sul Sole dal 1880 al 2000 (Fig. 10).

L'americano Karl D. Wood, nel suo articolo in collaborazione con Robert M. Wood pubblicato nella rivista *Nature* nel 1965, fa riferimento, per quanto riguarda le possibili relazioni tra gli allineamenti planetari e macchie solari, a lavori pubblicati tra il 1936 e il 1954, in anni quindi posteriori alle ricerche del Bendandi (41). Sulla base anche di questi dati sembra quindi molto probabile che Bendandi stesso sia stato il primo ideatore della teoria.

In occasione di un convegno internazionale di radioamatori tenutosi a Cefalù nel 1984, da parte di Marino Miceli fu fatto pure notare che effettivamente Bendandi era stato il primo ideatore della teoria che le macchie solari siano originate dall'influenza gravitazionale dei pianeti Mercurio, Venere, Terra e Giove sul Sole. Lo stesso Miceli, però, aggiungeva che questa teoria non supportata da una convincente dimostrazione matematica era stata rigettata da gran parte dei fisici. Una sorte uguale era toccata nel 1948 all'americano J.H. Nelson, uno studioso che aveva lavorato per la RCA, quando ripropose una teoria simile a quella di Bendandi. Comunque Nelson si servì nel 1951 della teoria basata sugli allineamenti planetari per prevedere, ad uso dei radioamatori, lo svolgersi del ciclo delle macchie solari. I radioamatori sanno bene che le trasmissioni ad alta frequenza dipendono dall'attività solare e quando un ciclo è nella sua fase di declino tentano di fare già previsioni sul ciclo che poi seguirà.

40) K. D. WOOD, *Sunspots and planets*, «Nature», vol. 240, 10 novembre 1972, pp. 91-93. In precedenza K. D. WOOD e R. M. WOOD avevano pubblicato un articolo: *Solar motion and sunspot comparison*, «Nature», n. 5006, 9 ottobre 1965, pp. 129-131, dove si sosteneva, nell'ambito delle attrazioni gravitazionali, che mentre i quattro pianeti esterni (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) sono quelli più importanti nel determinare i movimenti oscillatori del Sole, invece i tre pianeti interni (Mercurio, Venere e Terra) sono i più importanti nel provocare maree planetarie sul Sole.

41) R. M. WOOD e K. D. WOOD, *Cit.*, p. 131. Le pubblicazioni cui fa riferimento sono le seguenti: F. SANFORD, *Smithsonian Misc. Coll.*, 95 (1936); J. NELSON, *Trans.*

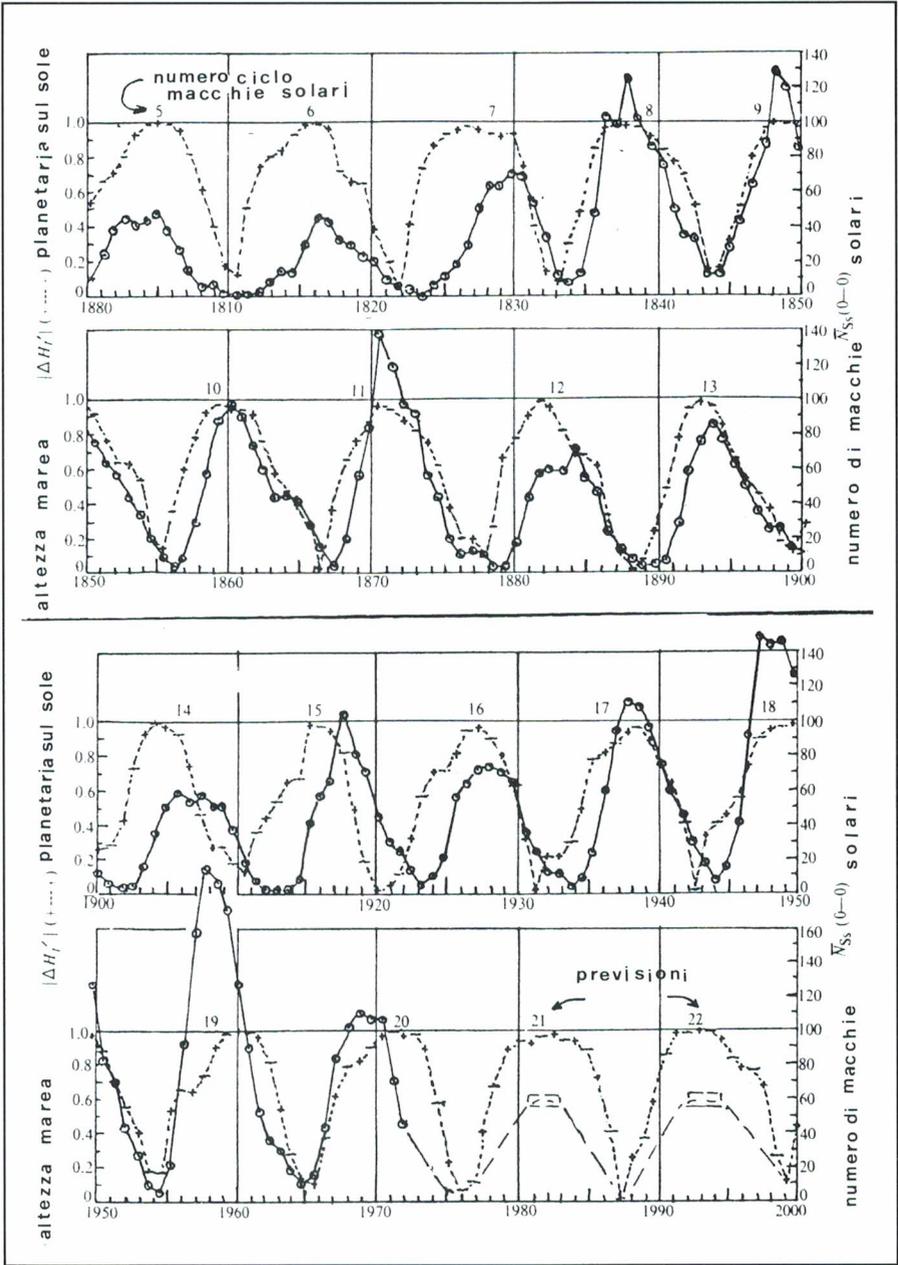


Fig. 10. L'altezza della marea planetaria sul Sole e il ciclo undecennale delle macchie solari dal 1880 al 2000. Da: Wood, 1972.

Dopo la pubblicazione nel 1972 della teoria proposta da K.D.Wood, simile a quella di Bendandi, qualche radioamatore tentò di fare previsioni sull'andamento del ciclo delle macchie solari. Come è stato già detto, la teoria di Wood, che viene spesso citata nelle riviste scientifiche internazionali, non è molto diversa da quella di Bendandi, dato che fa pure riferimento alle maree planetarie sul Sole esercitate dai quattro pianeti presi in considerazione dallo stesso Bendandi (42).

L'idea comunque che le macchie solari siano in relazione agli allineamenti planetari continua comunque ad essere oggetto di discussione scientifica, anche se i meccanismi invocati presentano tra loro una certa differenza. Ha infatti trovato un certo credito scientifico il problema della variazione del moto del Sole attorno al centro di massa del sistema solare con una periodicità di 178,7 anni, corrispondente ad uno dei periodi delle macchie solari. Nell'ambito di questo fenomeno gli allineamenti planetari avrebbero la funzione di innescare il formarsi delle macchie solari (43).

Recentemente è stata ribadita l'importanza delle oscillazioni del Sole attorno al centro di massa del sistema a causa delle variazioni di distanza dei quattro pianeti giganti (Giove, Saturno, Urano e Nettuno), mentre un altro ciclo sarebbe generato dalla marea planetaria esercitata sul Sole da Venere, Terra e Giove. Anche se le critiche di vari autori insistono nell'affermare che anche quando tutti i pianeti fossero allineati si avrebbe una marea sul Sole di pochi millimetri, qualche altro studioso fa rilevare che la componente orizzontale di tali forze non è da trascurare, dato che l'accelerazione di gravità del Sole è di 28 volte quella della Terra. Si sostiene inoltre che la velocità

*Inst. Rad. Eng.*, CS-2, 19 (1954); M. JOHNSON, *Correlation of cycles in Weather, Solar activity, Geomagnetic values and Planetary configurations*, Phillips and Van Orden, San Francisco, California, 1946.

42) M. MICELI, *The role of radio amateurs in investigations to unveil a possible feed-back between the solar activity and planetary actions*, «International Amateur Radio Union Regio 1 Conference», Cefalù, 8-13 aprile 1984, Committee A. Document SI/150.

43) R. W. FAIRBRIDGE, *Planetary periodicities and terrestrial climatic stress*, in MÖRNER e KARLÉN, cit., pp. 509-520; P. D. JOSE, *Sun's motion and sunspots*, «Astronomical Journal», 70 (1965), n. 4, pp. 193-200; N. A. MÖRNER, *Planetary, solar, atmospheric, hydrospheric and endogene processes on the Earth*, in MÖRNER e KARLÉN, cit. pp. 483-507; E. OKAL e D.L. ANDERSON, *On the planetary theory of sunspots*, «Nature», vol. 253, 13 febbraio 1975, pp. 511-513; R. M. WOOD, *Comparison of sunspot periods with planetary synodic period resonances*, «Nature», 255, 22 maggio 1975, pp. 312-313.

media delle correnti di marea sul Sole raggiunge circa un terzo delle correnti di marea generate dalla Luna sulla Terra (44).

Viene inoltre ricordato che i disturbi provocati dalla marea planetaria possano essere di innesco alla formazione delle eruzioni o brillamenti solari (*flares*) che, come già ricordato, emettono radiazioni corpuscolari che raggiungono la Terra con un ritardo di circa 26 ore. Qui interagiscono con le fasce di radiazioni dando origine anche alle aurore polari, con le conseguenti perturbazioni del campo magnetico della Terra note come tempeste magnetiche.

Il problema della influenza dei pianeti sul Sole non è stato ancora accantonato. Anche nei più recenti convegni che trattano le correlazioni tra la variabilità del Sole e il clima sulla Terra, si tende a lasciare aperto ancora questo problema. Comunque anche se si conferma che questa influenza è piccola, purtuttavia potrebbe essere sufficiente per disturbare i tubi di flusso magnetico alla superficie del Sole, qualora si venissero a trovare in una posizione di equilibrio instabile (45).

### ***3. Le previsioni di Bendandi sui disturbi alle radiocomunicazioni***

È stato più volte ricordato che l'attività solare, in corrispondenza del suo massimo del ciclo undecennale, provoca disturbi alle radiocomunicazioni a causa dei fenomeni di ionizzazione provocati dal vento solare e in particolare dalle radiazioni corpuscolari emesse durante le eruzioni e i brillamenti legati alle macchie solari. In questi casi le trasmissioni su onde corte diventano impossibili e si è allora costretti a ricorrere alle onde lunghe di cui si riceve quasi solo l'onda diretta di grande portata.

Si fa qui riferimento ad una testimonianza del 1938 di Antonio Laghi dell'Università di Bologna e già presidente del Centro

44) T. LANDSCHEIDT, *Cycles of solar flares and weather*, in MÖRNER e KARLÉN, cit., pp. 473-481.

Questo autore cita E. ÖPIK, *Planetary tides and sunspots*, «Irish Astron. Journal», 10 (1972), pp. 298-301, a sostegno della importanza della componente orizzontale delle forze gravitazionali planetarie.

45) J. C. PECKER, *Closing remarks: astronomical*, «Philosophical Transactions of the Royal Society of London», A. 330 (1990), n. 1615, pp. 683-684. Si segnala che tutto il n. 1615, pp. 395-687 ha come titolo: *The Earth's Climate and variability of the Sun over recent millennia: geophysical, astronomical and archaeological aspects*.

radioelettrico (CRESM) “Guglielmo Marconi” di Roma (46).

Viene riferito che nell'estate del 1938 in occasione di un suo incontro con Bendandi, lo stesso Bendandi gli assicurò che al 7-8 settembre ci sarebbe stata una forte ripresa dell'attività solare e che sulla Terra si sarebbero verificate perturbazioni accompagnate da gravi disturbi alle radiotrasmissioni su onda corta, però con otto giorni di ritardo, vale a dire al 15 settembre. Questa previsione diramata anche a vari quotidiani venne pure divulgata dalla *United Press* in America. Il servizio di radiocomunicazioni di Buenos Ayres in Argentina stabilì di eseguire regolari determinazioni dell'intensità di campo dei segnali ricevuti da ben 28 stazioni ad onda corta. Da queste misure si rileva che la previsione fu pienamente confermata e le attenuazioni si notarono infatti dal 13 al 16 settembre ed in maniera notevolissima nei giorni 14 e 15 con un completo annullamento delle recezioni sulle onde brevi in modo speciale sui 16 e 20 metri. Il Laghi afferma infine che tutto ciò gli fu possibile desumerlo dagli elementi ufficiali gentilmente favoritegli dal direttore generale del servizio telecomunicazioni argentine Adolfo Cosentino.

#### 4. *Le maree planetarie e la sismicità terrestre*

Un altro problema affrontato da Bendandi riguarda gli allineamenti planetari e le forze gravitazionali da loro prodotte come innesco dei terremoti sulla Terra.

Dopo lo studio delle macchie solari e delle previsioni sull'andamento del loro ciclo undecennale, Bendandi volle verificare se vi era qualche correlazione tra le forze che provocavano l'attività solare e i fenomeni geodinamici sulla Terra, in particolare con i terremoti di forte intensità (superiore al sesto grado della scala Mercalli). Bendandi sosteneva che i fenomeni vulcanici e sismici sulla Terra avrebbero dovuto dipendere da un processo di marea interessante la crosta solida del globo. Tutta l'immensa mole della Terra doveva andare soggetta ad una periodica deformazione prodotta dalle forze di attrazione non solo Sole-Luna, ma in proporzioni minori anche dalle altre masse planetarie del sistema solare. Veniva pure riferito dallo stesso Bendandi

46) A. LAGHI, *La Terra, il Sole e le radio-onde*, «Cielo e Terra», n. 1-2 (1950), pp. 8-10; ID., *Le radio-onde al servizio dell'uomo*, «Numero unico annuale del collegio S. Luigi», Bologna 1939, pp. 46-52; ID., *Orizzonti nuovi nella scienza*, estratto da «Studium», 34 (1938), n. 8-9.

che egli aveva raccolto numerose informazioni su periodiche deformazioni della crosta solida terrestre. Per quanto riguardava le previsioni sui terremoti, egli così si esprimeva:

Già dissi che i fenomeni sismici sono causati dalla deformazione degli strati geologici terrestri che la variabile attrazione delle masse planetarie determina sul nostro pianeta. Come si possa conoscere in anticipo il giorno e l'ora del fenomeno, è presto detto. Gli annuari astronomici come è noto, forniscono giornalmente le posizioni e le variabili distanze dei vari pianeti dalla Terra. Ebbene se noi prendiamo questi elementi, ed in base ai valori delle longitudini geocentriche tracciamo il poligono, o parallelogramma delle forze, otterremo la risultante delle forze planetarie. Trovata questa, il problema può considerarsi virtualmente risolto. Infatti se noi vorremmo conoscere il giorno e l'ora del fenomeno tellurico che si prepara, ci basterà di cercare l'istante preciso nel quale anche la Luna aggiungerà la sua attrazione a quella degli altri pianeti. E detto istante critico avviene quando la Luna nel percorrere la sua orbita passerà sulla risultante: allorè l'azione del nostro satellite si sommerà a quella degli altri corpi celesti provocando il pauroso fenomeno cosmico (47).

Bendandi riteneva che i terremoti avessero un'origine esogena cioè dipendessero o venissero innescati da forze esterne alla Terra, come già si è detto. Ma se si applica la meccanica newtoniana a ciascuno dei pianeti del nostro sistema è facilmente verificabile l'eseguità dell'azione gravitazionale esercitata da essi sulla Terra, azione sempre trascurabile rispetto a quella mareale luni-solare. I contrasti sulla teoria di Bendandi si fecero ancora più rilevanti quando prese corpo e si sviluppò la teoria della deriva dei continenti e della tettonica a placche che acquistava un posto di primo piano per spiegare i vari fenomeni della dinamica della Terra.

Bendandi, pur avendo scritto centinaia di articoli e redatto migliaia di tabelle e diagrammi, non pubblicò mai un libro, come aveva già fatto per il sole e le macchie solari nel 1931, sulla genesi dei terremoti dove venisse espressa, con un certo ordine, la sua teoria al riguardo (48).

47) R. BENDANDI, *I terremoti e la Luna*, 24 giugno 1955, «L'uomo dei terremoti», cit., pp. 73-76.

48) Una parte della documentazione costituente il fondo Bendandi donato al Comune di Faenza è stata raccolta a cura di L. N. ZAULI, *Estratto dall'inventario del fondo donato dal sismologo Raffaele Bendandi al Comune di Faenza*, Faenza 1982. Si ricorda che Bendandi pubblicò nel 1950 un periodico dal titolo: «Cielo e Terra». Bollettino bimestrale di previsioni cosmiche pubblicato dall'Osservatorio Bendandi, Faenza (Italia)».

La teoria di Bendandi sui terremoti, che veniva illustrata in vari articoli su giornali, fu subito contestata sul nascere. Sono note le polemiche di Bendandi con alcuni sismologi che rappresentavano la scienza ufficiale in occasione dei terremoti verificatisi nel mese di gennaio del 1924. Gli oppositori di Bendandi, pur riconoscendo che in alcune date indicate da Bendandi si verificarono effettivamente i terremoti previsti, facevano però notare che in tutto il mese di quell'anno si erano verificati 240 scosse sismiche, tra lievi e forti. Di queste una quarantina classificate di una certa importanza, con una media di una scossa al giorno e quindi non aveva senso di parlare di previsioni (49). In realtà i terremoti previsti da Bendandi per i giorni 2, 13-14, 15-16, 19-20 e 30 gennaio 1924 si verificarono.

In particolare il 2 gennaio si ebbe una forte scossa del VII-VIII grado nelle Marche, Bendandi, però, accennava ad un'area egeo-balcanica.

Questo fatto non alterò l'interesse della previsione, tanto più che ben spesso assicurava che non era in grado di dare indicazioni precise sulla distribuzione geografica dell'area che veniva colpita. Inoltre fu possibile constatare che si verificarono pure le altre scosse previste per metà gennaio per l'America centrale.

Comunque la scossa che diede maggior credito a Bendandi fu quella del 2 gennaio 1924 che era stata indicata, come importante, nel documento presentato ad un notaio di Faenza il 20 dicembre 1923 e che anche gli oppositori dovettero poi prenderne atto (50).

Bendandi continuò a registrare i terremoti tenendosi a contatto con numerosi osservatori sismici di varie parti del mondo con i quali scambiava i dati raccolti. Sotto questo aspetto, Bendandi fece un lavoro molto utile, tanto da meritarsi varie attestazioni di elogio e riconoscenza.

49) G. AGAMENNONE, *I presagi sismici del gennaio 1924*, estratto da «La Meteorologia pratica», 5 (1924), n. 1, 88 pp. L'interesse per le ricerche di Bendandi sui terremoti si presentò in maniera prorompente il 13 dicembre 1923 quando lo stesso Bendandi, durante una conferenza a beneficio della Croce Rosse Italia di Faenza sul tema "I terremoti e la sismologia", annunciò la sua teoria sull'origine dei terremoti e la sua capacità di fare previsioni. In platea assisteva un giornalista già commilitone di Bendandi che gli propose uno *scoop* giornalistico e cioè andare insieme da un notaio a depositare una busta chiusa con le sue previsioni sui terremoti che dovevano verificarsi nel mese di gennaio 1924. E così la lettera fu consegnata al notaio Domenico Scavini di Faenza con la clausola che la busta sarebbe stata aperta solo per autorizzazione del Bendandi. Nel gennaio 1924 fu resa pubblica la dichiarazione del Bendandi che suscitò un grande interesse. Cfr. LAGORIO e DOLCINI, cit., p. 260.

50) AGAMENNONE, cit., p. 3.

I suoi articoli e i suoi bollettini di previsione dei terremoti gli diedero notorietà non solo in Italia ma anche all'estero. Questa attività, però, proseguiva tra la curiosità della opinione pubblica e la diffidenza degli scienziati. È il caso di ricordare che ebbe il giorno 31 marzo 1926 dal Commissariato di Pubblica Sicurezza di Faenza, che certamente agiva su indicazione degli uffici centrali di Roma, la diffida di continuare ad emanare notizie alla stampa nazionale e internazionale sulle previsioni dei terremoti. Questa diffida, come risulta dai giornali dell'epoca, fu resa necessaria a seguito anche delle proteste dei sismologi Agamennone e Guzzanti presso il Ministro dell'Interno Luigi Federzoni (51).

L'idea di Bendandi che i terremoti possano essere legati anche a fattori esterni alla Terra, in particolare agli allineamenti planetari, in connessione agli influssi lunisolari, non è stata ancora abbandonata, anzi c'è ora su tale argomento un rinnovato interesse e un acceso dibattito.

Studi più recenti hanno messo in evidenza altre correlazioni tra i movimenti dei pianeti e del Sole e vari fenomeni geofisici sulla Terra, tra quali la sismicità, tenendo in particolare considerazione i moti del Sole attorno al baricentro del sistema solare (52).

Nell'ambito delle ricerche sulla influenza del Sole sui terremoti della Terra, è stata posta l'attenzione su una eventuale connessione con le macchie solari. Per i terremoti italiani si è calcolato che vi è una ricorrenza undecennale degli eventi più forti (superiori al settimo grado della scala Mercalli) verificatisi nel periodo 1834-1980, che può essere correlata al ciclo delle macchie solari (Fig. 11) attraverso l'attività magnetica (Fig. 12). L'analisi dei valori annuali delle macchie solari, della variazione geomagnetica interdiurna e dei più forti terremoti italiani, hanno permesso di identificare una significativa diretta modulazione undecennale della attività sismica da parte dell'attività solare attraverso la coerente variazione dell'attività geomagnetica con un relativo effetto magnetostrittivo sulle rocce cristalline. Il modello proposto può così rivelarsi di pratica importanza per la previsione di terremoti innescati da tempeste magnetiche (53).

51) LAGORIO e DOLCINI, cit., pp. 284-286.

52) I. JAKUBCOVÁ e M. PICK, *Correlation between solar motion, earthquakes and other geophysical phenomena*, «Annales Geophysicae-Terrestrial and Planetary Physics», 5 (1987), ser. B, n. 2, pp. 135-141.

53) A. MAZZARELLA e A. PALUMBO, *Solar, geomagnetic ad seismic activity*, «Il Nuovo Cimento», 11 (1988), pp. 353-364.

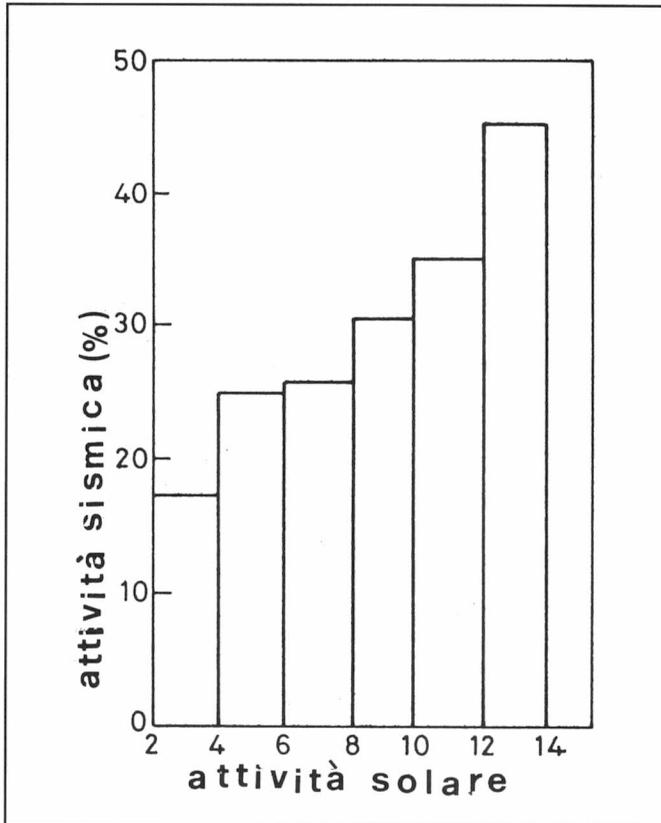


Fig. 11. Percentuale dei terremoti italiani annuali (superiori al settimo grado della scala Mercalli - C- S) per ogni numero di macchie solari.

Da: Mazzarella e Palumbo, 1988.

Sono state effettuate ricerche anche sugli effetti delle maree lunisolari. È stata infatti formulata l'ipotesi che la maggior parte dei terremoti italiani dal 1900 al 1983 siano influenzati dalla posizione del Sole e della Luna. Inoltre viene rilevato che i terremoti con magnitudo superiore a cinque mostrano una maggiore sensibilità ad essere innescati dalle maree gravitazionali rispetto a quelli di minore rilevanza. Questa ipotesi si basa anche sulla constatazione che la maggior parte dei terremoti si verifica più durante la notte che di giorno. La ripartizione notturna-diurna dei terremoti italiani nel decennio 1891-1900 e l'influenza delle fasi lunari furono già poste in evidenza da F. Eredia nel 1908.

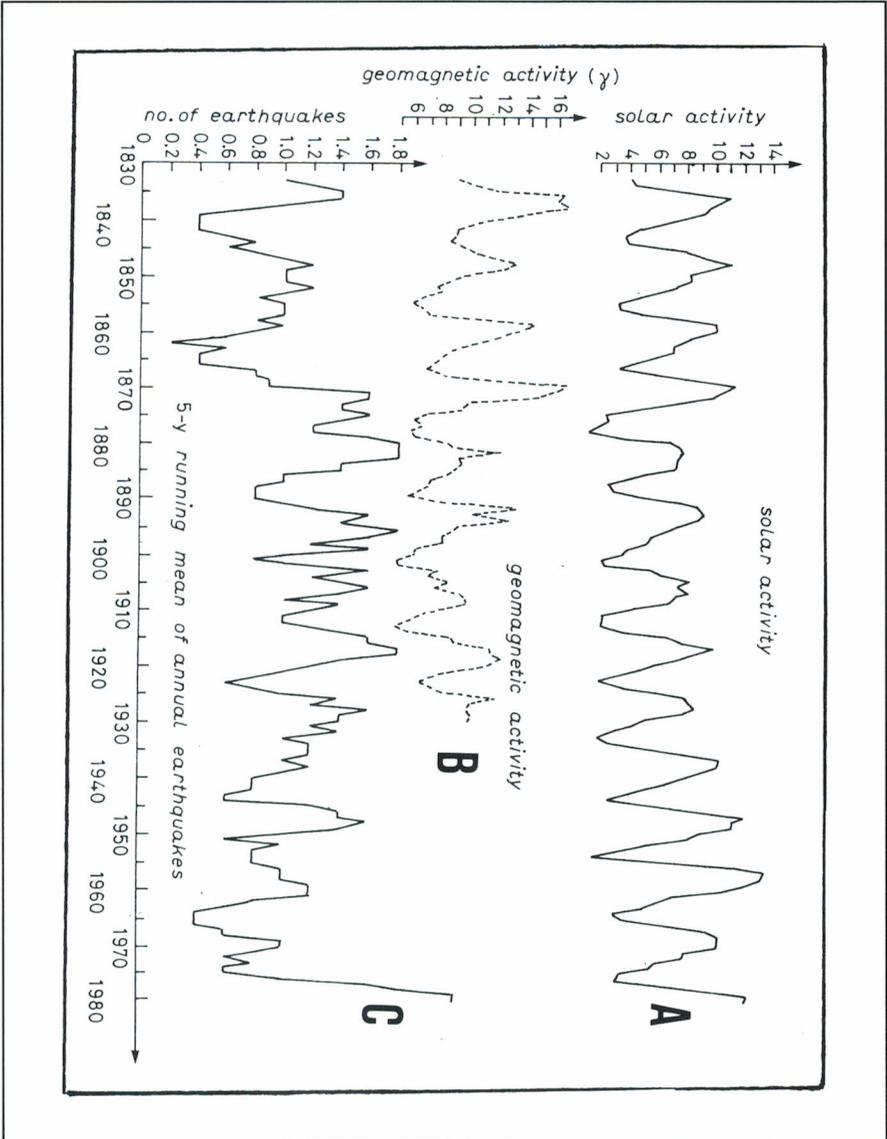


Fig. 12. Macchie solari, geomagnetismo e terremoti.

A - Valori medi annuali dell'attività solare (numero di macchie solari).

B - Attività geomagnetica (variabilità interdiurna).

C - Media mobile quinquennale dei terremoti italiani.

Da: Mazzarella e Palumbo, 1988.

Anche all'estero in questi ultimi decenni si è indagato molto sulla possibilità che i terremoti siano innescati da parte delle forze gravitazionali lunisolari (54).

Le ricerche sono indirizzate anche a indagare le eventuali correlazioni tra i grandi terremoti e l'attività solare, in particolare con il vento solare. A questo riguardo parecchi contributi scientifici provengono dagli astrofisici russi. È stata da questi scoperta una correlazione statistica significativa tra il tempo di origine dei grandi terremoti (almeno di quelli di magnitudo maggiore di 6,5) con l'esistenza e la localizzazione delle regioni attive sul sole. In particolare è stata stabilita una correlazione tra il tempo di origine dei grandi terremoti con il passaggio delle regioni attive attraverso il meridiano centrale del Sole (55).

Anche in vaste parti dell'Asia è stato notato che il massimo numero di terremoti cade negli anni in cui l'attività solare sta aumentando. I meccanismi di tali effetti non sono ancora noti ma viene comunque messa in risalto l'interazione tra i pianeti ed il Sole (56).

Emerge chiaramente come l'attività solare ed altri eventi cosmici abbiano una grande influenza non solo sul mondo biologico ma anche su quello fisico della Terra e su questo argomento si sta ora interessando un gran numero di scienziati (57).

I programmi di ricerca internazionale di vari istituzioni scientifiche, quali lo STEP (*Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics*), sponsorizzato dall'*International Council of Scientific Unions* con sede negli Stati Uniti d'America, sono rivolti ad indagare sempre più minuziosamente l'interazione tra Sole e Terra. Un primo risultato

54) A. PALUMBO, *Lunar and solar tidal components in the occurrence of earthquakes in Italy*, «Geophys. J. R. Astr. Sc.», 84 (1986), pp. 93-99.

55) A. D. SYTINSKI, *On the connection of strong earthquakes with parameters of the solar wind*, «Rep. Acad. Sci. USSR», 249 (1979), n. 4, pp. 821-824. (testo in russo). Ringrazio il Prof. Grant E. Kocharov, Direttore del Dipartimento Astrofisico "A. F. Ioffe Physical-Technical Institute" dell'Accademia Russa delle Scienze, San Pietroburgo, che mi ha procurato la suddetta pubblicazione dandomene una versione in inglese.

56) A. S. MALAMUD e V. N. NIKOLAEVSKII, *Cycles of Earthquakes and tectonic waves*, Edited by Prof. I. P. Pasechnik, Dushanbe "Donish", 1989. Desidero ringraziare il Dr. G. Martinelli del Servizio Cartografico della Regione Emilia-Romagna che mi ha segnalato e procurato la traduzione dal russo in inglese del lavoro sopra citato.

57) T. URANOVA, *The connection of tree-ring growth and some other natural phenomena with the solar planetary cycle and supernovae explosions*, «Dendrochronologia», 4 (1986), pp. 9-36.

di grande interesse, raggiunto da due ricercatori dell'Istituto Meteorologico danese, E. Friis-Christensen e K. Lassen, è quello riguardante le variazioni della temperatura sulla Terra e la durata del ciclo delle macchie solari. È stato fatto notare che vi è una correlazione molto stretta tra l'aumento della temperatura media sulla Terra nel periodo 1860-1990 e la lunghezza dei singoli cicli (in media undecennali, ma soggetti nel loro insieme a variazioni di qualche anno), (fig. 13). Si avrebbe cioè la seguente situazione: tanto più corto è il ciclo solare, tanta più alta è la temperatura sulla Terra e viceversa. Se venisse provata una simile teoria, tutte le elucubrazioni che si sono

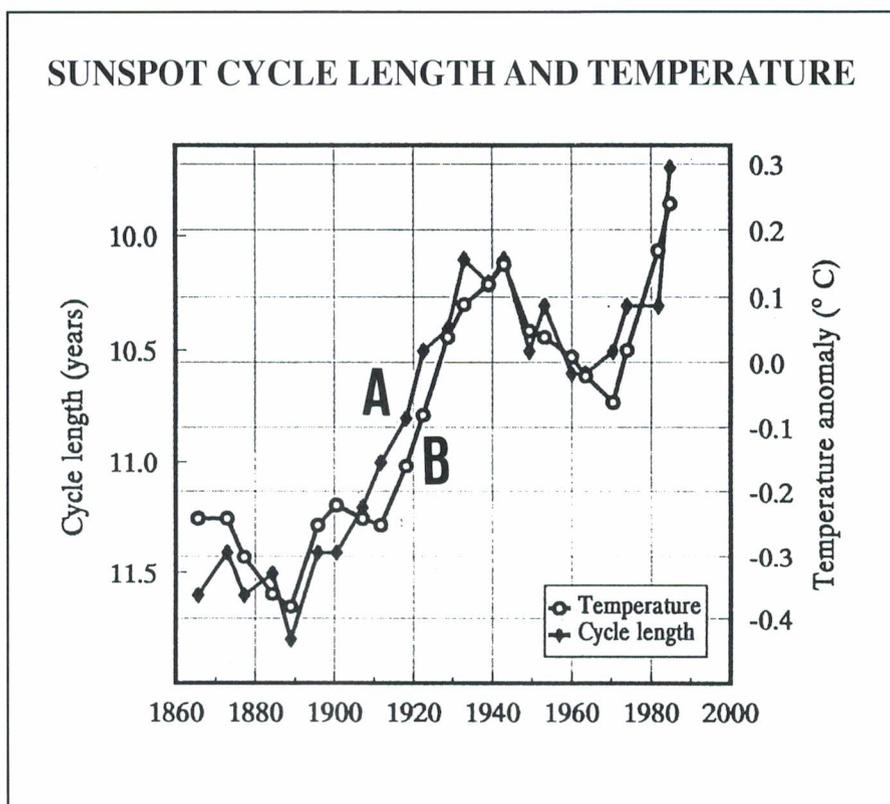


Fig. 13. Lunghezza del ciclo delle macchie solari e temperatura dal 1865 al 1985.

A - Andamento della lunghezza del ciclo delle macchie solari.

B - Andamento degli scarti di temperatura.

Da: STEP, 1992 (Friis-Christensen e Lassen).

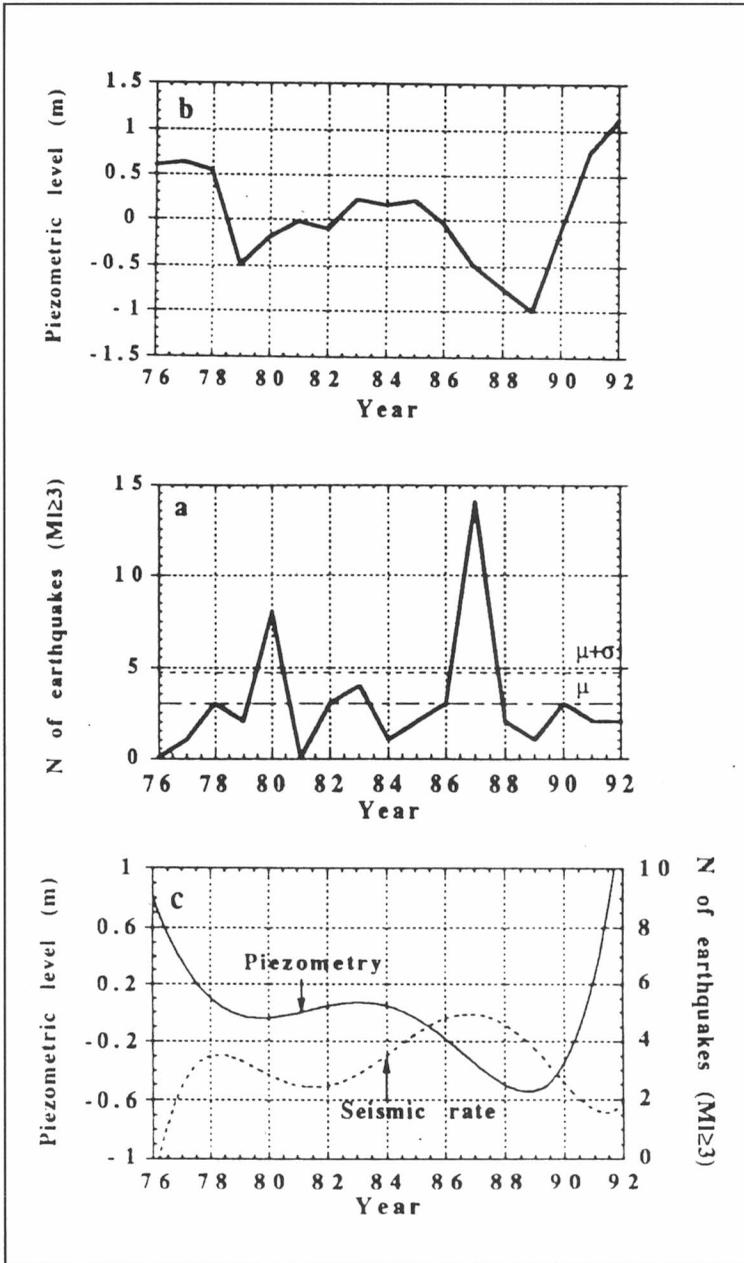


Fig. 14. Correlazione tra i livelli piezometrici e il numero dei terremoti nella Pianura Padana nel periodo 1976-1992. Da: Albarello-Martinelli, 1994.

fatte sul riscaldamento progressivo della Terra a causa dell'effetto serra dovrebbero tenere conto di questo effetto di origine naturale (58).

## 5. Conclusioni

Dopo quanto è stato qui esposto si può subito rilevare che Bendandi non deve essere considerato solo un dilettante di astronomia e di sismologia ma un vero e proprio ricercatore con intuizioni che, alla luce delle più moderne conoscenze, sono da considerarsi pionieristiche. Solo in questi ultimi decenni, a seguito anche delle esplorazioni spaziali, gli studi sull'interazione fra i fenomeni solari e quelli della Terra hanno subito una rilevanza di primo piano.

Sembra ormai certo che l'attività solare sia all'origine delle fluttuazioni climatiche che si sono verificate in questi ultimi millenni e che ancora oggi tendono a svolgersi sulla Terra con grande preoccupazione per l'umanità.

I segni dei cicli delle macchie solari si ritrovano nella crescita degli alberi, nei ghiacciai e nei sedimenti. Bendandi, con le sue felici intuizioni e con i suoi calcoli, cercò di prevedere l'andamento di questi cicli e le previsioni che fece nel 1931, comprendenti gli anni fino al 2000, si sono di fatto rilevate di grande interesse. Poter prevedere in anticipo gli anni in cui potranno svolgersi i massimi di attività solare è di grande utilità per le azioni dell'uomo.

Anche il problema dell'influenza di fattori esterni dalla Terra sui terremoti, che tanti rimproveri e "scomuniche" aveva prodotto a Bendandi, è ancora oggetto di attenta ricerca da parte di istituti scientifici internazionali.

Si potrebbe azzardare di dire, a conclusione di questa ricerca, che

58) G. VISCONTI, *Il sole con ciclo lungo raffredda la Terra*, «Corriere della Sera», Milano, 3 marzo 1992, p. 27; STEP, *Solar terrestrial energy program*, 1990-1997, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois, Urbana, USA.

Bendandi era troppo avanti per i suoi tempi e non c'erano allora le condizioni per una tranquilla discussione su problemi che solo oggi con più adeguati mezzi a disposizione, i ricercatori possono affrontare serenamente (59).

59) Si può citare, ad esempio, una ricerca tuttora in corso che mette in evidenza una correlazione tra l'oscillazione degli acquiferi di tipo confinato, rilevata per circa quattrocento pozzi nella Pianura Padana mediante l'andamento delle loro quote piezometriche, con il numero di terremoti dal 1976 al 1992 con magnitudo uguale o maggiore di tre (fig. 14). Gli autori di questa ricerca trovano una possibile spiegazione nell'ambito dei processi di lenta migrazione della deformazione crostale connessi alla stratificazione reologica della litosfera. Cfr. G. MARTINELLI, D. ALBARELLO e A. PECORELLI, *Quote piezometriche come indicatori geodinamici: indagine preliminare sui dati della rete di monitoraggio della Regione Emilia-Romagna, Atti dell'11° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica-della Terra Solida-C.N.R.*, Roma 9-11 dicembre 1992, vol. 2, pp. 589-600. Un ulteriore contributo su questo argomento è in corso di pubblicazione in «Geophysical Research Letters», 1994 (D. ALBARELLO e G. MARTINELLI, *Piezometric levels as possible geodynamics indicators: analysis from a regional deep Waters monitoring network in Northern Italy*). Si potrebbe ora prospettare l'ipotesi che anche questi fenomeni siano in qualche modo legate a forze extraterrestri, quali le maree planetarie.