

Ciclo Solare 24: anomalie forse prevedibili

di **Mario Gatti**

Osservatorio Solare, ISIS “Valceresio”
Via Roma 57, 21050 Bisuschio (Varese)

6 Aprile 2010

Abstract

L'attuale Ciclo Solare presenta una fase di minimo prolungato in avvio che non è stata riscontrata da tempo in quelli precedenti. I modelli previsionali, peraltro contrastanti, che parlavano prima di un ciclo particolarmente intenso e poi di uno di debole intensità, sono stati al momento praticamente tutti disattesi. Per questo possiamo affermare di essere di fronte ad un ciclo anomalo. Eppure questa anomalia, analizzando attentamente alcune caratteristiche dei cicli solari avvenuti nel passato ed accuratamente studiati, potrebbe non apparire poi così inattesa. Questo lavoro, senza alcuna pretesa di costituire a sua volta un possibile modello previsionale, passa in rassegna alcuni dati fondamentali alla luce dei quali è possibile rendere forse conto dell'andamento del ciclo attuale.

1) La nascita del Ciclo 24

La prima Regione Magnetica Bipolare (BMR, Bipolar Magnetic Region, tanto per usare i consueti acronimi anglosassoni) compatibile con un ciclo di indice pari secondo le leggi di Hale (polarità precedente negativa nell'emisfero Nord del Sole), è stata osservata il 13 Dicembre del 2007 a poco meno di 30° di latitudine Nord. Non ha prodotto macchie quindi non è stata mai numerata dal NOAA (il National Oceanic and Atmospheric Administration, che dal 1972 effettua il conteggio progressivo delle Regioni Attive), per cui la “nascita ufficiale” del ciclo è stata posticipata di qualche settimana, quando, intorno al 4 Gennaio del 2008, è stata rilevata la Regione Attiva NOAA 10981, la prima a presentare delle macchie ed avere le caratteristiche magnetiche corrette per poter essere assegnata ad un nuovo ciclo di attività solare. Da allora è stato tutto un susseguirsi di voci che si rincorrevano circa la possibilità che il nuovo ciclo avrebbe potuto presentare delle caratteristiche eccezionali, sia in un senso che nell'altro, cioè che avrebbe potuto essere un ciclo di forza notevole, forse mai registrata nel passato, oppure, al contrario, che non sarebbe certo passato alla storia per essere stato uno dei cicli più intensi ma sarebbe stato inghiottito dall'anomalo più assoluto. Arrivati ad oggi il tempo, che com'è noto è galantuomo, ha fatto poi giustizia, per una volta tanto senza dar ragione a qualcuno in particolare, piuttosto dando torto un po' a tutti. Infatti nessuno dei modelli previsionali sviluppati negli ultimi tre anni riesce a dar conto di una situazione nella quale gli osservatori del Sole si trovano ad operare e che ha caratteristiche molto spiccate di un ciclo che tarda ad avviare la sua attività, mantenendosi piuttosto in una fase molto simile a quella di minimo prolungato di quello precedente, pur con le caratteristiche magnetiche di un nuovo ciclo. Un avvio rallentato insomma, che spesso viene etichettato, giustamente, con la locuzione di “minimo prolungato”. Ormai la cosa dura da circa 3 anni per cui la faccenda comincia a farsi interessante, ma vediamo di andare con ordine.

2) La situazione attuale

I modelli previsionali per il Ciclo 24, come si è detto, sono sempre stati discordanti. La figura 1 mostra due tendenze contrapposte, come spiegato nella sua didascalia:

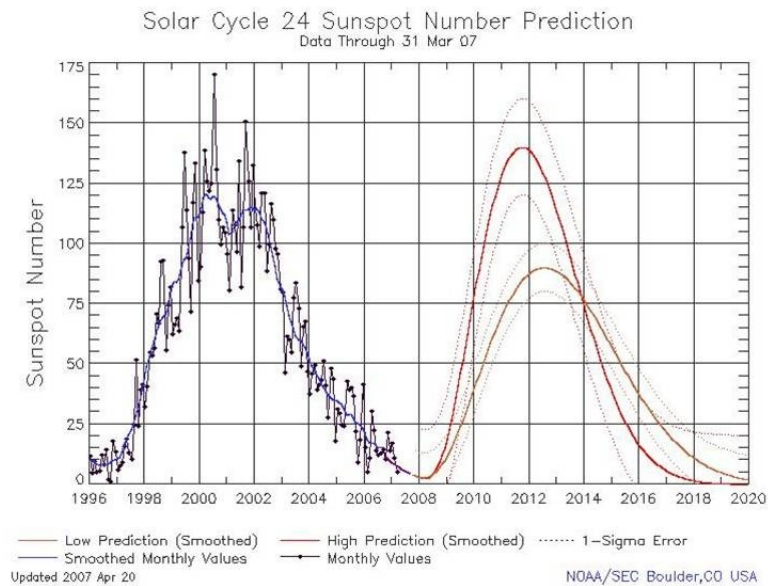


Figura 1 Andamento dei Numeri di Wolf normalizzati a partire dal 1996. La linea rossa indica il modello che prevedeva un massimo piuttosto intenso poco prima del 2012, quella arancione mostra la previsione per un massimo molto meno intenso intorno alla metà del 2013. Le linee tratteggiate rappresentano i relativi margini di errore. Nessuno dei due modelli indicati si è rivelato esatto finora.

Il problema è che nessuno dei modelli proposti riesce ad inquadrare la situazione attuale che, nel grafico della figura, potrebbe essere visualizzata con un punto posto in corrispondenza dell'anno 2010 e ad altezza decisamente inferiore a 25, quindi ben al di fuori delle linee di previsione, sia quelle con tendenza per così dire più ottimistica che quelle di tendenza contraria. Anche le immagini confermano l'andamento attuale: in Figura 2 un confronto tra una foto di questi tempi (18 Marzo 2010, a destra) ed una scattata nella stessa data durante la "salita" verso il massimo del precedente ciclo 23 (18 Marzo 1999, a sinistra), in corrispondenza di quella che dovrebbe essere la situazione attuale a parità di distanza temporale dal previsto massimo (due anni) parla da solo:

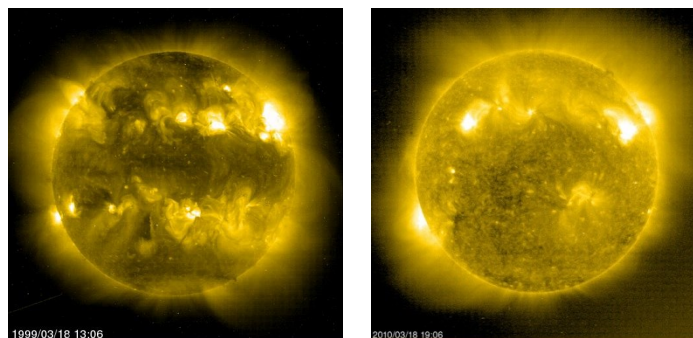


Figura 2 Immagini del Sole in corona nell'ultravioletto a 28.4 nm circa due anni prima del massimo del ciclo 23 (a sinistra) e, in corrispondenza, nel Marzo di quest'anno. La presenza di più regioni attive e buchi coronali rende evidente che si trattava di un Sole più attivo. Per gentile concessione del Consorzio SOHO/EIT. SOHO è un progetto di cooperazione internazionale tra le Agenzie NASA ed ESA.

A dire la verità qualche timido segno di risveglio in effetti la nostra Stella sembra mostrarlo; facciamo parlare anche in questo caso i numeri: nel nostro Osservatorio, in tutto il 2009 (287 giorni di osservazione) sono stati conteggiati 29 gruppi per un totale di 528 macchie; per un periodo molto lungo (tra il 10 di Luglio ed il 1 di Settembre) nessuna macchia è apparsa sul Sole; in tutto l'anno sono stati rilevati, nella banda tra 1Å e 8Å (dati NSO-NOAA) solo 26 flares di classe C (2.16 al mese) e nessun flare di classe M o di classe X. Sono state conteggiate (dati NOAA-USAF-SWPC) 30 Regioni Attive (2.5 al mese) ed il flare più intenso è stato di classe C7.6 registrato il 18 Dicembre. Il Numero di Wolf medio (non normalizzato) per tutto l'anno è stato un misero 4.82. Dal 10 Dicembre del 2009 in poi la musica è in effetti cambiata: nei primi 3 mesi di quest'anno (quindi dal 1 Gennaio al 31 Marzo 2010) sempre nel nostro Osservatorio (67 giorni di osservazione) abbiamo avuto 84 giorni con macchie (contando anche quelli nei quali per noi è stato impossibile osservare ma erano presenti) e solo 6 senza macchie; sempre con le stesse fonti di dati sono state conteggiate 21 Regioni Attive in 90 giorni (quindi con una media di 7 al mese), 76 flares di classe C (25.3 al mese), 14 flares di classe M (4.66 al mese) per un totale di 90 flares (in media quindi 1 al giorno e 30 al mese). Il più intenso dei flares è stato un M8.3 il 12 Febbraio; il 16 Febbraio si sono avuti 16 flares di classe C nello stesso giorno (più della metà di quelli conteggiati nell'intero 2009); il 4 ed il 8 Febbraio sono stati rilevati 4 flares di classe M nello stesso giorno. Infine sono stati osservati 23 gruppi per un totale di 768 macchie, con un Numero di Wolf medio (non normalizzato) di 25.56. Anche se siamo ben lontani da quelli che dovrebbero essere i "numeri del Sole" all'approssimarsi di un massimo di attività non resta che prendere atto che qualcosa forse si muove, come testimonia anche l'immagine di questa enorme protuberanza eruttiva (oltre 400.000 Km. di estensione) fotografata il 30 Marzo di quest'anno:

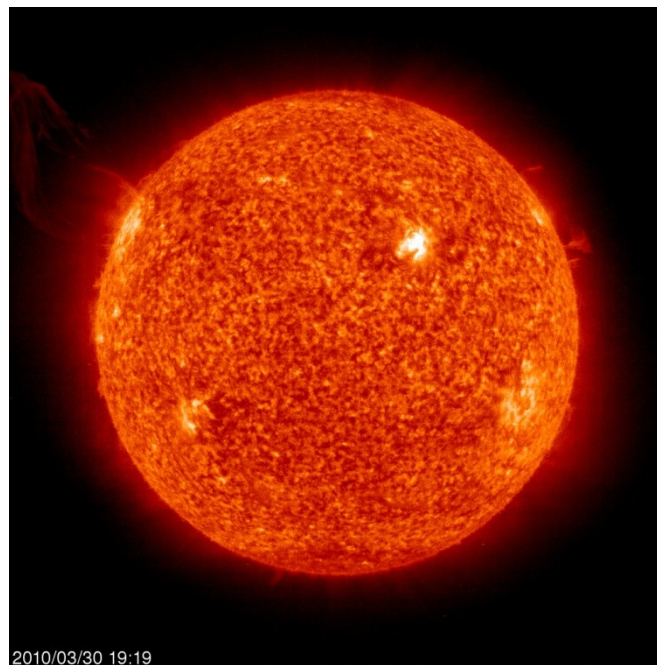


Figura 3 *Spettacolare protuberanza eruttiva, visibile nel quadrante NE del Sole fotografata dal telescopio EIT a 30.4 nm. Le sue dimensioni possono essere facilmente stimate (si veda il testo) tenendo conto che il raggio del Sole è di circa 700.000 Km. e che la cromosfera (a cui si riferisce l'immagine) ha uno spessore di soli 2500 Km. circa. Per gentile concessione del Consorzio SOHO/EIT. SOHO è un progetto di cooperazione internazionale tra le Agenzie NASA ed ESA.*

Attenzione a non farsi però prendere dall'entusiasmo di facili previsioni: così come una rondine non fa primavera, una protuberanza così estesa non vuol dire necessariamente massimo in arrivo e, soprattutto, non dice proprio niente su come potrebbe essere questo massimo, se mai ci sarà. Pertanto ci si può sentire autorizzati ad affermare che comunque restiamo in presenza di un'attività abbastanza scarsa, appunto come si dice da minimo prolungato. Alcuni dati, che emergono dallo studio del Sole compiuto nel corso di decine di anni nel passato e che tuttora proseguono, mostrano però come una situazione come quella attuale potrebbe non essere poi così strana e, soprattutto, potrebbe trovare al loro interno un suo inquadramento quanto meno statistico. E' quello che vedremo a partire dalla prossima sezione.

3) La "forma" di un ciclo

I cicli solari presentano un'asimmetria rispetto alla posizione dei loro massimi (Waldmeier 1935). Il tempo che trascorre da un minimo verso il relativo massimo è normalmente più breve di quello che intercorre nella fase calante del ciclo, verso il successivo minimo. Una sorta di "ciclo medio" può essere ricostruito, come mostrato in Figura 4, utilizzando dati relativi all'ampiezza media del ciclo (espressa in SSN, Sun Spot Number, ossia Numero di Wolf normalizzato) ed alla sua lunghezza media espressa in mesi:

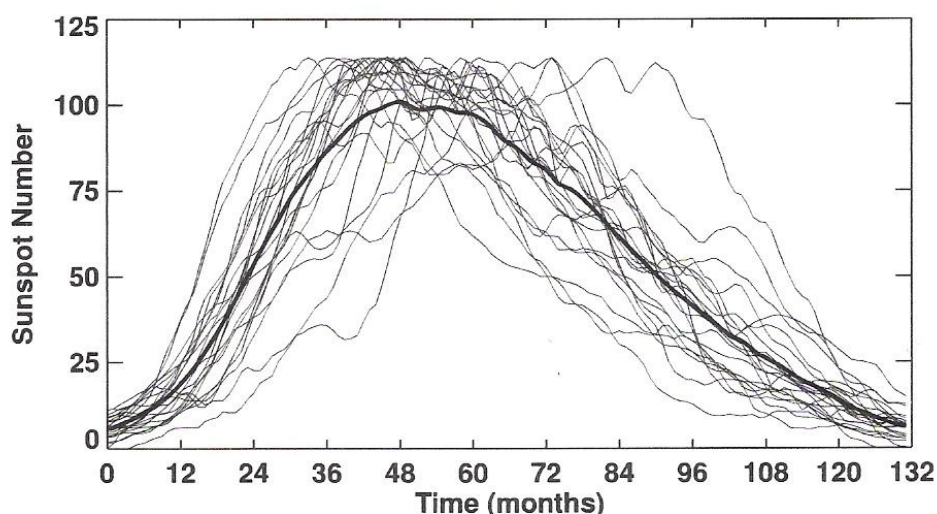


Figura 4 L'andamento medio dei cicli dall'1 al 22 (linea più spessa) in funzione dell'ampiezza (Sunspot Number, numero di macchie normalizzato) e della durata dei cicli (espressa in mesi). Fonte: *The Solar Cycle*, di D.H. Hathaway, *Living Rev. Solar Phys.*, 7, (2010), 1.

Come si può vedere facilmente, in media un ciclo impiega circa 48 mesi (4 anni) per passare dal minimo iniziale al suo massimo e circa 84 mesi (7 anni) per tornare al minimo successivo: il periodo medio di 11 anni di durata del ciclo (132 mesi) è quindi decisamente rispettato. Sono stati proposti numerosi modelli matematici per interpretare questo andamento. Il più accreditato attualmente è quello proposto da Hathaway e collaboratori (1994), che riprende un lavoro precedente di Stewart e Panofsky (1938); secondo tale modello l'andamento dell'intensità di un ciclo in funzione dalla sua durata può essere espresso da una funzione semi-empirica del tempo:

$$F(t) = A \left(\frac{t-t_0}{b} \right)^3 \left[\exp\left(\frac{t-t_0}{b} \right) - c \right]^{-1}$$

nella quale A rappresenta l'ampiezza del ciclo, t_0 è il tempo di inizio del ciclo, b è il tempo di "salita" verso il massimo (*rising time*) e infine c è un parametro che tiene conto dell'asimmetria del ciclo. La miglior corrispondenza con i dati medi ricavabili dalla Figura 4 si ottiene ponendo nell'equazione precedente $A = 193$, $b = 54$, $c = 0.8$ e $t_0 = 4$ mesi prima del minimo: il risultato è riportato nella successiva figura, dove come prima in ordinata è riportata l'ampiezza del ciclo espressa in SSN ed in ascissa la sua durata in mesi:

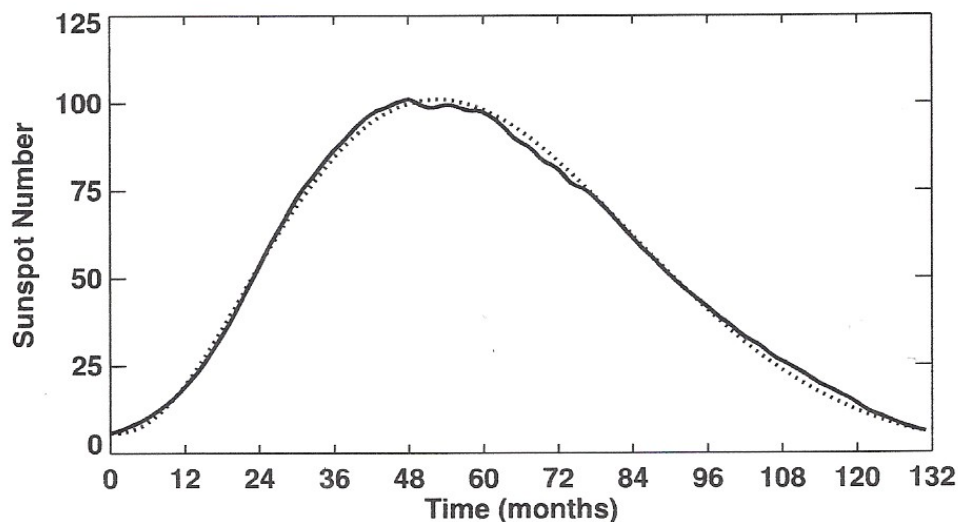


Figura 5 Il "ciclo medio" (linea continua, ricavata dalla precedente figura 4) e la corrispondenza con la formula proposta da Hathaway e collaboratori (linea punteggiata). La partenza del ciclo è stata posta 4 mesi prima del minimo, il tempo di salita verso il massimo è stato posto a 54 mesi e la durata del ciclo è sovrapposta (overlapping) per 18 mesi a quella del ciclo successivo. Fonte: *The Solar Cycle*, di D.H. Hathaway, *Living Rev. Solar Phys.*, 7, (2010), 1.

E ora vediamo (che è la cosa che più ci interessa) cosa possiamo ricavare dall'analisi di queste considerazioni più o meno complicate: se partiamo dal presupposto peraltro abbastanza ottimistico che il ciclo attuale sia in "ritardo" di circa 24 mesi (Gennaio 2008 – Gennaio 2010) su quello che dovrebbe essere il suo andamento, se rispettasse quello dei suoi predecessori e ammettendo, (cosa non scontata) che ormai si sia "avviato" (ipotesi confortata dall'andamento dei primi 3 mesi di quest'anno), nella precedente figura 5 dobbiamo porre un valore di 78 mesi ($54 + 24$), che porta per interpolazione immediata ad un SSN di circa 75. Questo potrebbe essere, alla luce del modello indicato, il massimo numero di Wolf normalizzato che potrebbe essere raggiunto nel ciclo 24. Piuttosto piccolo se confrontato con quello dei precedenti, ma perfettamente in linea con l'attuale tendenza "al ribasso" del ciclo in corso. E questo potrebbe essere un primo indizio che quello che sta accadendo non è poi nulla di così strano o imprevedibile. Ma non finisce qui: ci sono anche diverse altre situazioni da analizzare e lo faremo nelle sezioni successive, a partire dalla prossima.

4) L'effetto Waldmeier

Diverse corrispondenze sono state ricavate tra i vari aspetti dell'andamento dei cicli solari. Tra queste, quella forse più significativa è il cosiddetto Effetto Waldmeier (Waldmeier, 1935, 1939), secondo il quale il tempo di salita di un ciclo dal minimo verso il massimo è praticamente inversamente proporzionale alla sua ampiezza. Questo è mostrato in figura 6, utilizzando i dati relativi ai SSN ed alle onde radio emesse dalla stella a 10.7 cm.

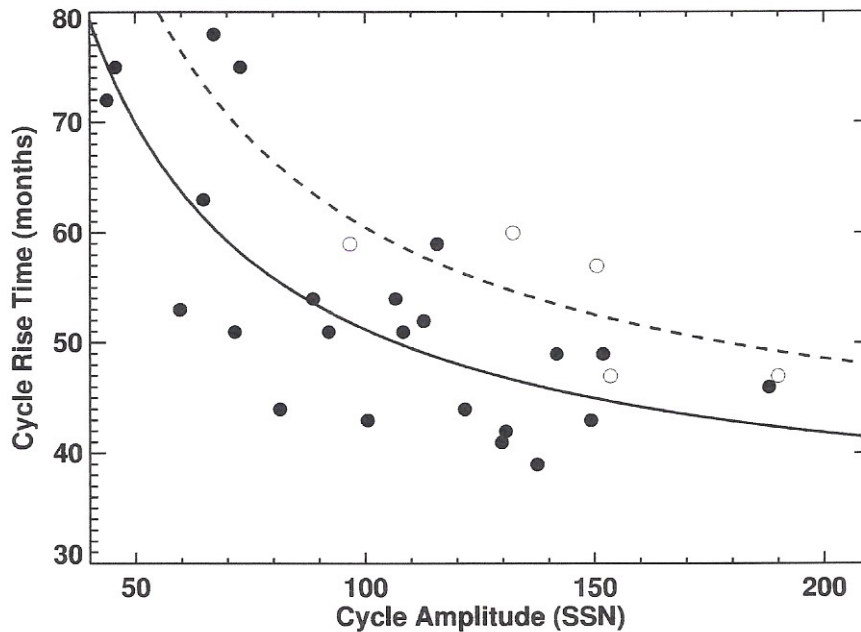


Figura 6 *Effetto Waldmeier. Il tempo di salita di un ciclo (rising time) dal minimo al massimo è riportato in funzione dell'ampiezza del ciclo, espressa in SSN per i cicli dall'1 al 23 (linea continua e cerchi pieni) ed in funzione del radioflusso a 10.7 cm. per i cicli dal 19 al 23 (linea tratteggiata e cerchi vuoti). E' evidente in entrambi i casi una relazione di proporzionalità inversa. Normalmente i massimi di attività nel radioflusso a 10.7 cm. seguono in modo sistematico di alcuni mesi (circa 6) quelli delle macchie solari, ma i due set di dati sono strettamente interconnessi. Fonte: The Solar Cycle, di D.H. Hathaway, Living Rev. Solar Phys., 7, (2010), 1.*

Bachmann e White (1994) hanno proposto una formula semiempirica che rende conto piuttosto bene dell'andamento espresso nella figura precedente:

$$T \text{ (rising time in mesi)} \sim 35 + 1800 / \text{Ampiezza del ciclo (espressa in SSN)}$$

perlomeno per quanto riguarda i dati relativi ai Numeri di Wolf normalizzati.

Anche da queste considerazioni emergono interessanti conclusioni: sempre ponendo (come nella sezione precedente) 78 mesi come tempo di salita del ciclo verso il massimo, dalla figura 6 si ottiene facilmente che considerando i dati relativi ai SSN si ricava un Numero di Wolf normalizzato massimo di poco superiore a 52, mentre interpolando i dati relativi al radioflusso a 10.7 cm. si otterrebbe un Numero di Wolf normalizzato massimo intorno a 68. Mediando questi due dati con il precedente di 75 ottenuto nella sezione precedente arriviamo ad un valore di circa 65. E ancora eccoci in presenza di un Numero di Wolf normalizzato massimo piuttosto bassino, perfettamente in linea con la tendenza attuale del ciclo 24.

5) Durata di un ciclo e ampiezza

Altre relazioni molto significative sono state ricavate tra il periodo di un ciclo (la sua durata in mesi, intesa da un minimo all'altro) e la sua ampiezza (come sempre misurata in SSN). La più accreditata è quella proposta indipendentemente da Hathaway e collaboratori (1994) e da Solanski e collaboratori (2002), che mette in relazione la durata di un ciclo con l'ampiezza probabile di quello successivo. La successiva figura mostra le conclusioni di questi ricercatori:

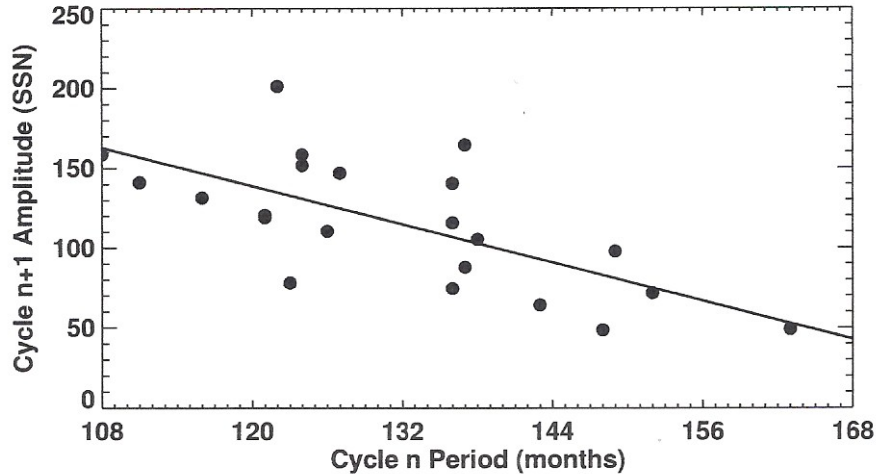


Figura 7 La durata (periodo) di un ciclo generico n (espressa in mesi) è messa in relazione con l'ampiezza (in SSN) del generico ciclo successivo $n+1$. Si nota che maggiore è la durata di un ciclo, tendenzialmente il ciclo successivo tende ad essere più debole del precedente. Fonte: *The Solar Cycle*, di D.H. Hathaway, *Living Rev. Solar Phys.*, 7, (2010), 1.

Ancora una volta ipotizziamo che il ciclo 23 precedente (n) stia continuando il suo minimo per almeno 24 mesi (il che equivale ad affermare che la partenza di quello attuale sia in ritardo dello stesso intervallo temporale). Prendiamo perciò un valore di 156 mesi ($132 + 24$) sull'asse orizzontale della figura precedente. Questo porta per interpolazione ad un sorprendente valore di circa 65 per l'ampiezza del ciclo successivo ($n+1$), cioè dell'attuale 24, in quasi perfetto accordo con i dati ricavati nelle precedenti sezioni. Gli indizi si accumulano, ma non sono finiti.

6) Il ciclo di Gleissberg

Quello ipotetico degli 11 anni per il transito da un minimo all'altro non è l'unico evidenziato nell'attività del Sole. Ne sono stati proposti molti altri, alcuni su scala di secoli, altri addirittura di millenni ed altri ancora, al contrario, dell'ordine di pochi mesi. Tra tutti ce n'è uno, detto Ciclo di Gleissberg, che sembra evidenziare la presenza di un massimo più intenso degli altri ogni 7 - 8 cicli circa di 11 anni, cioè ogni 77 - 88 anni circa. Questo super-ciclo è evidenziato nella figura seguente:

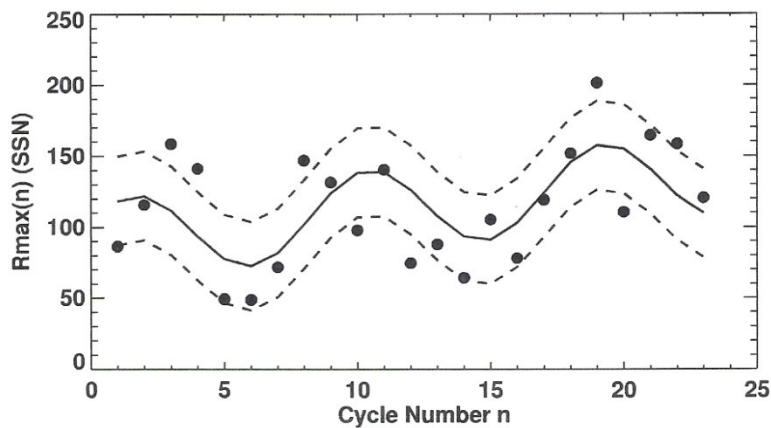


Figura 8 Il Ciclo di Gleissberg per i primi 23 cicli. La linea continua rappresenta la miglior corrispondenza tra due ipotetici cicli sinusoidali con periodi leggermente diversi. In ascissa gli SSN massimi. Fonte: *The Solar Cycle*, di D.H. Hathaway, *Living Rev. Solar Phys.*, 7, (2010), 1.

E' evidente dalla figura che la tendenza attuale di questo super-ciclo è in discesa. Il ciclo 24 si troverebbe quindi in una fase di minimo di quello di Gleissberg e questo potrebbe rendere conto della sua "debolezza". E' da far notare anche qui il valore di circa 70 (sempre per interpolazione) per il Numero di Wolf normalizzato massimo prevedibile per il ciclo in corso.

7) Un altro dato significativo

Circa un anno fa S. Cortesi, Direttore della Specola Solare Ticinese di Locarno Monti, sulla rivista "Meridiana" (S.Cortesi, "Un minimo solare prolungato", Meridiana N° 199, Gennaio – Febbraio 2009, pag. 18-19) aveva espresso la sua opinione circa un valore massimo del Numero di Wolf normalizzato intorno a 70 prevedibile per il 2013 circa, basandosi su un'accurata analisi dei Numeri di Wolf dal 1700 ad oggi ed in particolare sull'anomalia presentata (nel ciclo 24) dall'assenza di macchie solari del nuovo ciclo a latitudini eliografiche superiori a $\pm 20^\circ$ sovrapposte alle macchie del vecchio ciclo più vicine all'equatore. Comparando tali dati con quelli di diversi cicli precedenti S. Cortesi è giunto alla sua conclusione. Si tratta senza dubbio alcuno di un parere molto autorevole, proposto da un ricercatore che da oltre 50 anni si occupa di osservazione sistematica della fotosfera, che si accorda quasi alla perfezione con quanto esposto finora nel presente lavoro.

8) Conclusioni

Non sono poche le corrispondenze tra le più recenti teorie relative all'andamento dei cicli solari ed il comportamento considerato anomalo (perlomeno relativamente a quelli precedenti) di quello in corso, al punto tale che ci si potrebbe sentire autorizzati ad aver individuato una possibile chiave di lettura per spiegare quanto sta avvenendo di questi tempi sul Sole. Non si deve però dimenticare che si tratta di risultati legati ad una ricerca in continua evoluzione e come tali passibili di conferme o smentite possibili anche in tempi molto brevi. Come fa notare S.Cortesi nel suo citato articolo su Meridiana, fare previsioni oggi sulla possibile evoluzione del ciclo 24 è quantomeno prematuro e sarà meglio riparlare tra qualche anno. Ci sono forse degli indizi, presentati in questo lavoro, ma in quanto tali non sono prove. Nel frattempo c'è chi approfitta di questa fase di minimo prolungato per studiare le proprietà del campo magnetico in condizioni di "Sole quieto", cioè alla larga dalle Regioni Attive. Vista la reticenza con la quale si mostrano di questi tempi, saranno certo contenti questi ricercatori (che operano soprattutto nel campo della spettropolarimetria solare). A tutti gli altri la consolazione di poter forse raccontare un giorno ai propri discendenti di aver vissuto e seguito da vicino un momento forse "storico" della vita della nostra stella: uno di quei minimi prolungati che in passato si sono già presentati e sono durati anche parecchio (ad esempio il famoso minimo di Maunder, tra il 1645 ed il 1710). Forse non sarà questo il caso, ma forse sì, nessuno può dirlo finora.