

Un importante strumento di monitoraggio dell'attività solare

Il radio flusso a 10.7 cm.

di Mario Gatti *

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

Dal Sole arriva tutta la luce del mondo. Non solo in senso figurato, ma anche fisico. Infatti la nostra stella irradia in tutte le frequenze dello spettro elettromagnetico, da quelle più alte (Raggi X) a quelle più basse (onde radio). Ed è proprio in questa porzione di frequenze, in un intervallo che va da qualche decina di MHz a oltre 10 GHz , quindi con lunghezze d'onda tra 10 metri (onde radio decametriche) e qualche millimetro (onde radio millimetriche), che ne esiste una particolare alla quale viene dedicato questo breve articolo. Questa frequenza, pari a 2800 MHz (2.8 GHz) corrisponde ad una lunghezza d'onda di 10.7 cm. ed è chiamata per questo *radio flusso a 10.7 cm*, spesso indicato con F10.7 o anche semplicemente F10. Ma partiamo con un po' di storia.

La Radioastronomia solare è una scienza molto giovane (esiste da meno di 70 anni) e, come molte altre cose di rilevante importanza scientifica, fu scoperta per caso. Nel Febbraio del 1942 era in pieno svolgimento la “Battaglia d’Inghilterra”, la potente offensiva aerea scagliata dal III Reich contro gli Inglesi con bombardamenti a tappeto sulle principali città britanniche. Anche se poi le sorti di questa grande battaglia dei cieli furono infine favorevoli agli inglesi, si può immaginare con quale “*british surprise*” questi si risvegliarono la mattina del 12 Febbraio ritrovandosi due navi da guerra tedesche, la *Scharnhorst* e la *Gneisenau*, nel bel mezzo del Canale della Manica, pronte a fare da appoggio alle incursioni aeree dell’aviazione germanica. La prima domanda degli inglesi fu quasi ovvia: come ci sono arrivate? Perché i nostri Radar, che scandagliano ininterrottamente l’*English Channel* non le hanno viste? I Radar inglesi operavano su una lunghezza d’onda radio di 5 metri ed il primo pensiero che passò per la testa del British War Office, l’Ufficio per la Guerra, fu quella che i tedeschi avessero escogitato qualche diavoleria tecnologica in grado di “accecare” i loro Radar. Incaricarono allora l’Army Operational Research Group, del quale faceva parte il giovane fisico civile Stanley Hey, di analizzare il problema per trovare alla svelta rapide ed efficaci contromisure. Hey piazzò immediatamente delle stazioni di monitoraggio sulle scogliere di Dover, puntando i suoi rivelatori di onde radio verso la parte opposta della Manica, la Francia allora occupata dai tedeschi. Il 27 ed il 28 Febbraio si accorse che i Radar antiaerei, durante il giorno, erano stati resi inutilizzabili da un rumore radio statico ed insolitamente forte proveniente da est, scatenando giustificate preoccupazioni nell’Ufficio per la Guerra relative al fatto che i tedeschi stavano probabilmente progettando un’incursione aerea di notevole portata. Quando si accorse che il massimo dei disturbi di interferenza radio provenivano dalla direzione in cui si trovava il Sole (ad est appunto rispetto alla sponda inglese della Manica), Hey interpellò il Royal Greenwich Observatory scoprendo che in quei giorni un gruppo di macchie solari di dimensioni eccezionali era in transito sul disco solare. Nonostante lo scetticismo dei suoi colleghi (eufemismo inglese per dire che fu preso per matto o quasi), Hey concluse che l’acceccamento dei Radar non era prodotto da un intervento umano, ma era da imputare al Sole.

Un eccellente esempio di “*serendipity*”, termine inglese intraducibile, che vuol dire più o meno “come scoprire una cosa andando alla ricerca di un’altra”. Da allora lo studio dello spettro radio emesso dalla stella si è evoluto ed ha fatto passi enormi, grazie anche all’impiego di radiotelescopi sempre più sofisticati tanto che è stato coniato il termine “*radiosole*” quando ci si riferisce all’emissione in onde radio.

Maggiore è la lunghezza d'onda, tanto più il radiosole si estende oltre la superficie visibile, cioè la fotosfera. Ad una lunghezza d'onda di 3 metri le sue dimensioni sono circa il doppio di quelle del disco solare visibile. Un'altra caratteristica importante riguarda la frequenza: se "si scende" verso la stella, muovendosi idealmente dalla corona verso la fotosfera, si ha emissione radio a frequenze sempre maggiori. Quindi, se i nostri occhi fossero sensibili alle onde radio, osservando il radiosole perderemmo finalmente quella sensazione (peraltro falsa) di "rotondità" tanto familiare, che verrebbe sostituita da una nuvolotta informe, senza capo né coda e in continuo cambiamento. Il vero Sole è fatto così, non come appare a noi.

Come detto, l'emissione radio è continua, ma a volte, in corrispondenza di quei poderosi eventi energetici chiamati flare, anche il radiosole produce dei picchi di emissione chiamati *burst radio*, che potremmo tradurre con "lampi radio". Esistono 5 tipologie di questi fenomeni, ma quelli che interessano in particolare chi si occupa di Space Weather (per il significato e l'illustrazione di questo termine si vedano i numeri 219 e 220 di Meridiana) sono quelli di tipo II e IV, in quanto sono degli indicatori quasi sicuri del rilascio di una emissione coronale di massa successiva al flare.

In questo panorama così vasto andiamo a focalizzare la nostra l'attenzione sul citato radio flusso a 10.7 cm. iniziando anche qui dalla sua storia. Immediatamente dopo la seconda guerra mondiale Arthur Covington e i suoi collaboratori del National Research Council di Ottawa, in Canada, assemblarono un radiotelescopio mettendo insieme tutti gli avanzi di Radar ed altri apparecchi residuati del conflitto. Puntarono il loro strumento su molti oggetti celesti, misurando emissioni generalmente deboli o molto deboli, tranne che in un caso: puntandolo sul Sole, che si rivelò quindi subito essere la sorgente radio più brillante tra tutte. Lo strumento di Covington operava alla frequenza di 2800 MHz e fu subito chiaro che il flusso radio a quella frequenza era variabile. La prima domanda che si posero quegli studiosi fu se il fenomeno interessasse piccole porzioni dell'astro o tutta la stella nel suo insieme e alla fine fu chiaro che il contributo maggiore dell'emissione totale a 10.7 cm. veniva prodotto in prossimità dei gruppi di macchie solari. Ora noi sappiamo, con maggior precisione, che l'origine del radio flusso a 10.7 cm sono le regioni attive, quella zone del Sole che appaiono brillanti se osservate sulla corona nell'ultravioletto o nei raggi X e che quasi sempre hanno come controparte in fotosfera proprio i gruppi di macchie. L'emissione radio avviene tra l'alta cromosfera e la bassa corona e per spiegarla sono stati proposti due meccanismi, sebbene ci sia ancora un certo dibattito tra i fisici solari per stabilire quale dei due abbia maggiore rilevanza rispetto all'altro. Le due cause dell'emissione a 10.7 cm. sono la radiazione di frenamento termica (dovuta ad elettroni che irradiano quando vengono deflessi da altre particelle cariche) e la radiazione giromagnetica, detta anche di sincrotrone per l'analogia con quanto accade in un acceleratore di particelle, dovuta alla radiazione prodotta sempre da elettroni accelerati e invorticati su traiettorie curve da parte del campo magnetico solare. La questione è complessa in quanto i moti di queste particelle non sono individuali, come in un gas, ma sono moti collettivi non trattabili con la fisica ordinaria, in quanto facenti parte di un plasma ad altissima temperatura immerso in un campo magnetico e ad esso per così dire accoppiato. La fisica di questi sistemi è detta Magnetoidrodinamica e chi la conosce sa quanto sia complicata.

Tra il 1946 e il 1990 le misure di F10.7 sono state compiute a Ottawa. Dal 1990 il programma sinottico di osservazioni è stato affidato al DRAO (Dominion Radio Astrophysical Observatory) con sede a Penticton, sempre in Canada, che tutti i giorni fornisce tre valori del radio flusso, alle 18.00, 20.00 e 22.00 di Tempo Universale, più la media dei tre valori e la media degli ultimi 90 giorni. Una questione sempre canadese, quindi.

A questo punto emerge una considerazione quasi ovvia ma fondamentale: in quanto originato in prossimità delle regioni attive, o se preferite dei gruppi di macchie, F10.7 è strettamente correlato con l'attività magnetica del sole, quindi in ultima analisi costituisce un eccellente indice di attività solare per lo studio dei cicli, al pari dei numeri di Wolf, degli indicatori coronali (osservazioni della

corona in particolari righe monocromatiche di emissione), dell'area dei gruppi di macchie, del conteggio dei flare e delle loro classi energetiche. Il vantaggio del radio flusso è principalmente quello di non dipendere dalle condizioni atmosferiche (è sempre misurabile, ogni giorno) e di essere completamente obiettivo, non essendo influenzato dall'osservatore come nel caso del conteggio delle macchie. Infatti F10.7 non si osserva, ma appunto si misura. I dati relativi a F10.7 coprono ininterrottamente il periodo tra il 1948 e il giorno d'oggi e solo i numeri di Wolf coprono un intervallo temporale decisamente più vasto, visto che l'inizio del Ciclo 1 è stato datato dallo stesso Wolf al 1755, in base alle sue osservazioni ed alle rielaborazioni di precedenti osservazioni fatte da altri astronomi. Ed è questo che ovviamente fa del conteggio delle macchie l'indice di attività solare ancora più usato, anche se, come si vede nella Figura 1 che segue, F10.7 non sfigura affatto, infatti è evidente come anch'esso segua dei cicli con la stessa periodicità di quelli delle macchie, anche se con alcune differenze, delle quali ci occuperemo tra poco.

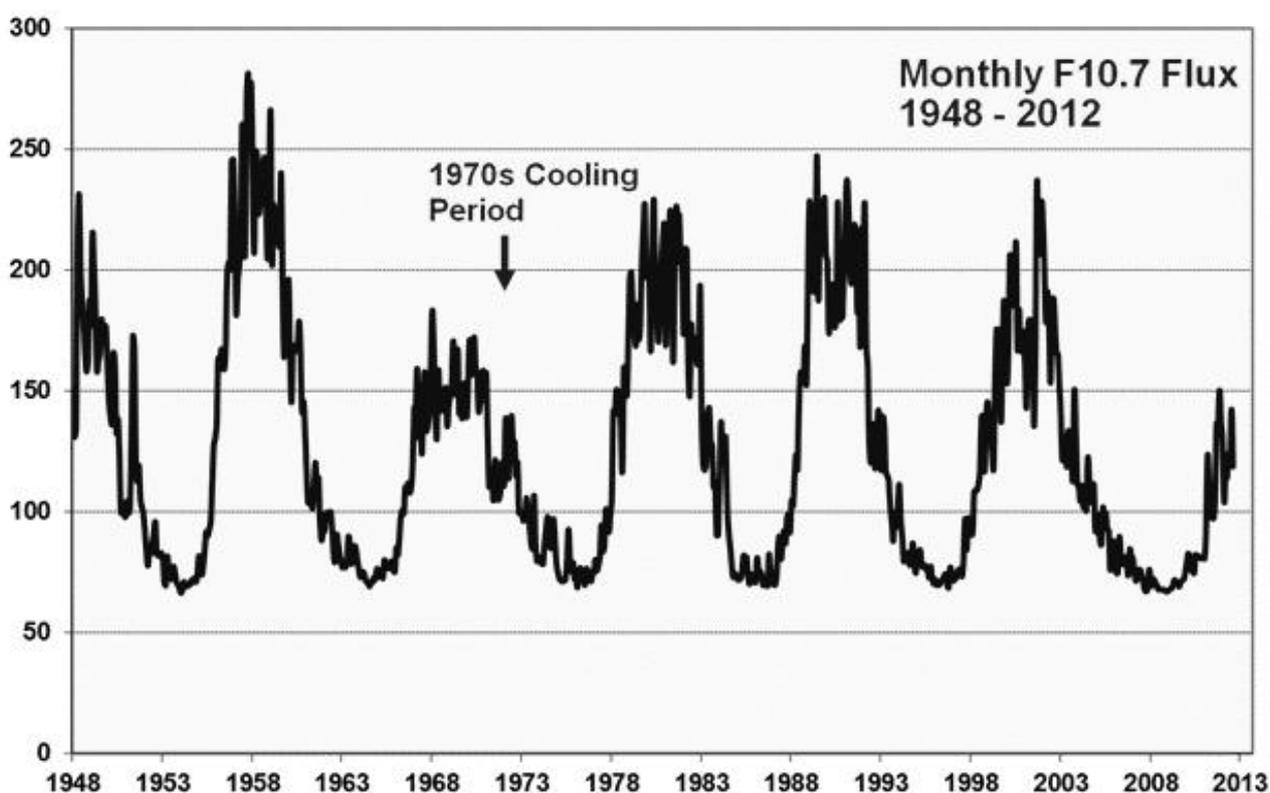


Figura 1: Andamento dei valori del radio flusso a 10.7 cm. tra il 1948 e il 2012. E' evidente la modulazione del segnale che segue un andamento ciclico, del tutto parallelo a quello del numero di macchie solari, fornendo quindi preziose indicazioni sull'andamento dei cicli solari.

Fonte: <http://wattsupwiththat.com>

Le figure 2 e 3 della pagina seguente servono invece a comparare l'andamento dei due indicatori relativamente allo scorso ciclo 23 e all'attuale ciclo 24 in corso:

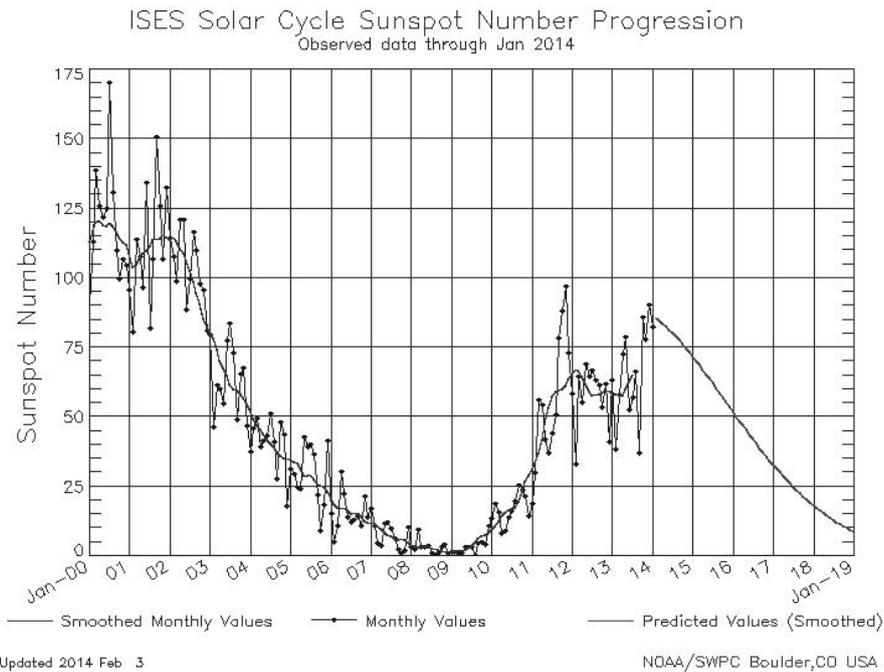


Figura 2: I valori dei numeri di Wolf normalizzati (per il significato di questo termine si veda la nota alla fine dell'articolo) aggiornato a Gennaio 2014, da cui emergono il doppio massimo del ciclo 23, il primo massimo del ciclo 24 intorno a Novembre-Dicembre 2011, il massimo secondario di Dicembre 2013 probabilmente ancora in corso e l'estrema debolezza del ciclo 24 rispetto al suo predecessore. La linea irregolare che unisce i puntini neri segue i valori delle medie mensili, quella nera continua è la curva, detta "smoothed" che fornisce l'andamento dei valori normalizzati e la riga nera a forma di mezza parabola sulla destra è la curva previsionale per la parte rimanente del ciclo 24.

Fonte: <http://www.swpc.noaa.gov>

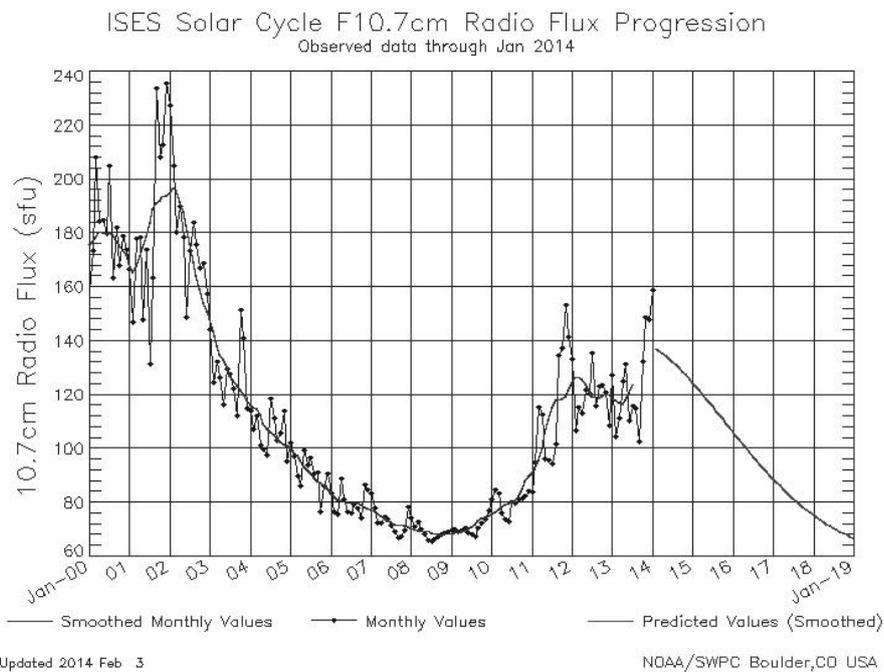


Figura 3: Lo stesso scenario della figura precedente, con lo stesso significato delle varie curve, ma relativo ai valori di radio flusso a 10.7 cm. aggiornati sempre a Gennaio 2014. Le due figure mostrano grafici molto simili tra loro, ma esistono delle differenze che sono ampiamente discusse nel testo.

Fonte: <http://www.swpc.noaa.gov>

Ed è proprio dall'esame di queste due figure, che di fatto presentano due scenari a prima vista identici, che emergono dei particolari che invece li distinguono l'uno dall'altro. In primo luogo quando il Sole attraversa un periodo di minimo, i numeri di Wolf vanno a zero, e l'assenza di macchie può perdurare per molti giorni, o anche per mesi (come è successo tra Luglio e Agosto del 2009). Al contrario, il radio flusso a 10.7 cm. anche ai minimi di attività non scende mai a zero, ma rimane assestato su un valore intorno alle 67 unità. L'unità di misura per F10.7 è detta "sfu" che sta per Solar Flux Unit, o unità di flusso solare. Equivale a 10^{-22} W per m² per Hz. E' impiegata anche un'altra unità di misura, detta Jansky (simbolo Jy). 1 sfu è pari a 10000 Jy. I minimi di attività del Sole coincidono con quelle che si chiamano condizioni di radiosole quieto, durante i quali permane questa residua attività radio, detta anche componente S.

La seconda questione riguarda l'evidente sfasamento temporale tra i numeri di Wolf ed i valori di radio flusso. Il ciclo 23 ha avuto due massimi, uno principale ed uno secondario a distanza di circa due anni l'uno dall'altro (cosa per altro normale e presente in misura più o meno marcata in quasi i tutti i cicli solari ben studiati). Mentre per quanto riguarda le macchie il primo massimo è stato più intenso del secondo (massimi numeri di Wolf normalizzati pari a circa 120 e 113 rispettivamente) per il radio flusso è stato il contrario: primo massimo meno intenso del secondo (circa 180 sfu contro circa 196 sfu) ed i due periodi di massimo, per i numeri di Wolf e per F10.7, non coincidono, ma sono sfasati nel tempo. Questo "ritardo" del radio flusso nei suoi valori al massimo del ciclo, rispetto ai numeri di Wolf, è stato osservato per diversi cicli in misura più o meno marcata. Per esempio nel ciclo 21 è stato di circa 17 mesi mentre per quello successivo i due indicatori sono apparsi più o meno in fase uno con l'altro. Se invece di paragonare i valori sugli interi cicli si restringono gli intervalli temporali, allora si nota come se il Sole presenta per un certo periodo di maggiore attività per quanto riguarda le macchie, il radio flusso lo segue con un mese o due di ritardo. E' quello che è successo in tempi recentissimi: tra il mese di Dicembre del 2013 e quello di gennaio del 2014 il sole ha probabilmente presentato un massimo secondario nell'emisfero Sud (come previsto da R. C. Altrock, si veda il numero 223 di meridiana in merito) ed ecco che un mese dopo, a cavallo tra Gennaio e Febbraio 2014, F10.7 ha presentato per diversi giorni valori attorno ai 190 sfu, circa 40 unità in più rispetto alla media di 150 sfu degli ultimi 90 giorni, mentre i numeri di Wolf, pur rimanendo abbastanza elevati (relativamente comunque alla debolezza del ciclo in corso), hanno presentato una leggera flessione. Una possibile spiegazione di questo ritardo sistematico di circa un mese (se prendiamo in considerazione solo brevi periodi di tempo, mediando su tutto un ciclo le cose non sono così semplici) l'hanno proposta K. B. Ramesh e N. Vasantharaju del Indian Institute of Astrophysics in un articolo, ancora in corso di pubblicazione, dal titolo "Temporal offsets among Solar activity indicators" cioè sfasamenti temporali tra indicatori dell'attività solare (ArXiv: 1401.3999v1, pag. 4). Non è una spiegazione né facile né banale, ma proviamo a capirla ugualmente, in parole semplici.

E' ben noto che i gruppi di macchie solari sono prodotti dal raffreddamento del plasma fotosferico causato dall'emergere, da sotto la fotosfera, di flussi magnetici che "escono" da una certa zona, si sollevano sopra la fotosfera e poi "rientrano" in una zona adiacente. Questi "tubi di flusso", così sono chiamati, presentano alle loro estremità due polarità opposte, scambiate di posizione nei due emisferi N e S della stella. Le stesse polarità che si incontrano nei gruppi di macchie solari e che ad ogni ciclo undecennale (ciclo di Wolf-Schwabe) si invertono nei due emisferi (legge di Hale). Le macchie solari si possono formare solo se l'intensità del campo magnetico all'interno dei tubi di flusso supera un valore minimo di circa 1500 G (il Gauss, simbolo G, è un'unità di misura per i campi magnetici). Ci sono inoltre delle macchie, non osservabili in luce visibile, ma evidenti nell'infrarosso), che si formano in una regione detta OMR (Opacity Minimum Region) che si trova 50 Km. al di sotto della superficie visibile. Alcune regioni attive, che altro non sono quindi che quelle parti della stella dove si innescano questi complessi meccanismi magnetici, in particolare quelle che producono grandi gruppi di macchie solari, si ripresentano una e anche due – tre volte

dopo il loro primo transito sull'emisfero visibile del Sole. Ad ogni loro ritorno, però, sono magneticamente sempre più deboli quindi può succedere che il campo magnetico scenda sotto la soglia di 1500 G e non si osservino macchie in superficie anche se verosimilmente è possibile che si formino quelle 50 Km "più in basso". 50 Km. sono tanti per un essere umano (specialmente se deve farli a piedi), ma sono una nullità nella scala di grandezza del Sole. Eppure sono fondamentali e basta fare due più due per accorgersene. Se una regione attiva di ritorno non produce più macchie visibili, un osservatore (che non usa l'infrarosso) non le vede, non le conta quindi il numero di Wolf si abbassa rispetto alla rotazione precedente, perlomeno relativamente a quella particolare regione. Poiché però il radio flusso a 10.7 cm. come detto origina proprio dalle regioni attive, quelle di ritorno avranno magari un campo magnetico residuo di intensità tale da non riuscire a produrre macchie, ma in grado di innescare comunque il meccanismo di emissione radio, quindi i valori di F10.7 si presentano ancora elevati. Poiché una rotazione del Sole vista da Terra (rotazione di Carrington) dura 27.5 giorni, quindi circa un mese, ecco una possibile spiegazione dello sfasamento mensile tra i picchi dei numeri di Wolf e quelli di F10.7. Non si tratterebbe dunque di un vero ritardo, ma di un abbassamento relativo dei numeri di Wolf rispetto ai valori di radio flusso causato dal campo magnetico residuo delle regioni di ritorno. Per dare un'idea di questo sfasamento temporale prendiamo come esempio i mesi di Dicembre 2013 e Gennaio 2014: il primo ha presentato un numero di Wolf medio normalizzato di 90.3, il secondo di 82,0 quindi Dicembre 2013 è stato un mese più "forte", se pur di poco di quello successivo. Ora prendiamo due giorni in particolare: il 7 Dicembre 2013 F10.7 presentava un valore di 157 sfu con una media sui 90 giorni di 131 sfu. e un mese dopo, il 7 Gennaio 2014 i due valori sono stati 237 sfu e 150 sfu rispettivamente.

Se si potesse, cosa da non fare mai, considerare i numeri di questi due soli mesi, potremmo concludere che il Sole ha presentato un massimo per le macchie in Dicembre 2013 e per il radio flusso a 10.7 cm. nel Gennaio 2014. Conclusione poco seria, in quanto questi conti vanno fatti sull'arco di più mesi se non a volte di anche uno - due anni, comunque i numeri parlano chiaro in ogni caso. Va anche detto che quanto detto non è una legge, una regola ferrea. Il Sole presenta spesso comportamenti a volte strani, a volte addirittura inspiegabili (lo sta facendo in particolare proprio in questo ciclo 24 in corso) ed anche gli sfasamenti temporali tra i vari indicatori della sua attività non fanno eccezione. Per finire, un'ultima caratteristica del nostro radio flusso: a volte, non sempre però, in corrispondenza di flare di potenza medio-alta vengono prodotti quelli che si chiamano radio burst a 10.7 cm. detti anche "tenflare", letteralmente "flare dieci" e l'origine del nome dovrebbe essere evidente. Per pochissimi minuti, quasi sempre uno o due, raramente qualcuno in più, F10.7 presenta un'impennata di emissione che può superare anche di diverse decine di sfu l'ultimo valore misurato a Penticton alle 20:00 TU, che è quello di riferimento giornaliero. Veri lampi radio monocromatici quindi, brevissimi e intensi. Il rilascio di una emissione coronale di massa (che può potenzialmente diventare pericolosa per noi terrestri) in seguito all'osservazione di un tenflare, unita a quella di burst radio di tipo II e IV (che non sono monocromatici, ma riguardano i primi una banda di frequenza di circa 50 MHz e i secondi l'intero spettro radio) è talmente probabile che converrebbe tentare almeno una volta di giocare al lotto un terno secco con i numeri 2,4 e 10. Io non l'ho mai fatto, non perché non mi fidi del Sole, ma perché non gioco al lotto così vinco ad ogni estrazione.

Nota: i numeri di Wolf normalizzati citati nel testo sono quelli forniti dal Solar Influences Data Analysis Center (SIDC) di Bruxelles e sono chiamati anche ISN (International Sunspots Numbers). Sono la rielaborazione dei valori grezzi calcolati da ogni singola stazione di osservazione del network di Osservatori solari collaboranti con il SIDC.

I valori dei numeri di Wolf riportati a proposito dei mesi di Dicembre 2013 e Gennaio 2014 sono valori provvisori forniti dal SIDC, in quanto gli ISN definitivi vengono pubblicati da tre a sei mesi dopo il periodo di interesse. I valori di F7.10 forniti dal DRAO di Penticton e utilizzati nel testo sono invece sempre quelli ufficiali.

*Reference contacts: mario.gatti@isisbisuschio.it, osservatorio@isisbisuschio.it